

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ ТА МАШИН

«На правах рукопису»

УДК 66.099.2

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____ В.Б.Струтинський

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування

на тему Розробка установки для гранулювання натрового вапна

Виконав (-ла): студент (-ка) _____ ІІ курсу , групи МВ – 61м

_____ Суліма Максим Павлович

(прізвище ім'я по батькові)

(підпис)

Науковий керівник _____ д.т.н., проф., Гейчук В.М.,

(вчена ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант з розділу _____

(вчена ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент:

Начальник відділу хімічних технологій ТОВ ДЕЗЕГА

Холдинг Україна, к.т.н. Бурдін О.В.

(посада, наукова ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ - 2018

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
ім. Ігоря Сікорського”
Механіко-машинобудівний інститут
Кафедра конструювання верстатів та машин

Рівень вищої освіти другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

Спеціалізація «Металорізальні верстати та системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

В.Б.Струтинський

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” 2018 р.

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ

Суліма Максим Павлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Розробка установки для гранулювання натрового вапна

науковий керівник дисертації Гейчук Володимир Миколайович, д.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від **“15” березня 2018 року № 934-с**

2. Термін подання студентом дисертації 18.05.2018 р.

3. Об'єкт дослідження Гранулятор пасти натрового вапна

4. Предмет дослідження Технологічна схема отримання гранул напівсферичної форми та конструкція обладнання для її реалізації

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Аналіз технологічних схем отримання гранул напівсферичної форми та конструкцій обладнання для їх реалізації. 2. Розробка технологічної схеми гранулювання. 3. Розробка компоновки гранулятора. 4. Розробка конструкції гранулятора.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 1. Кінематична схема гранулятора – 1 лист. 2. Складальне креслення гранулятора – 5-6 листів. 3. Складальне креслення наповнювача лунок – 2 листи. 4. Плакат з результатами аналізу та розрахунків – 1 лист.

7. Орієнтовний перелік публікацій 1. Машина для гранулювання натрового вапна

8. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Аналіз технологічних схем отримання гранул напівсферичної форми та конструкцій обладнання для їх реалізації.	Січень 2018 р.	
2.	Проведення експериментальних досліджень, розробка технологічної схеми гранулювання та компоновки гранулятора.	Лютий 2018 р.	
3.	Розробка конструкції гранулятора.	Березень 2018 р.	
4.	Виконання розрахунків	Квітень 2016 р.	
5.	Оформлення креслень, плакатів та записки	Травень 2018 р.	

Студент _____ Суліма М.П. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Науковий керівник дисертації _____ Гейчук В.М. _____

РЕФЕРАТ

Робота складається з вступу, ___ розділів, висновків, переліку посилань і додатків. Викладена на ___ сторінках машинописного тексту, містить ___ таблиць і ___ рисунків. Перелік посилань нараховує ___ найменувань.

Графічна частина проекту та частина розрахунків виконана з використанням пакету САПР Autodesk Inventor, Solidworks, програм MathCAD, Microsoft Excel. Текстова частина оформлена за допомогою текстового процесора Microsoft Word.

В роботі виконано аналіз способів гранулювання натрового вапна і подібних за фізичними і реологічними властивостями продуктів, схем та конструкцій обладнання для їх реалізації. Проведені попередні дослідження та проектні розрахунки продуктивності, основних параметрів та передач і з'єднань гранулятора для виготовлення гранул напівсферичної форми. Розроблена кінематична схема та конструкції основних вузлів гранулятора.

В работе выполнен анализ способов гранулирования натровой извести и сходных по физическим и реологическим свойствам продуктов, схем и конструкций оборудования для их реализации. Проведены предварительные исследования и проектные расчеты производительности, основных параметров, передач и соединений гранулятора для изготовления гранул полусферической формы. Разработана кинематическая схема и конструкции основных узлов гранулятора.

The paper analyzes the methods of granulation of sodium lime and products, schemes and designs of equipment similar for physical and rheological properties for their realization. Preliminary studies and design calculations of the productivity, basic parameters, gears and joints of the granulator for making hemispherical granules were carried out. A kinematic scheme and designs of the main units of the granulator are developed.

КЛЮЧОВІ СЛОВА І СЛОВОСПОЛУЧЕННЯ:

ХЕМОСОРБЦІЯ, СОРБЕНТ, ВАПНО НАТРОННЕ, ГРАНУЛА, ГРАНУЛЯЦІЯ, НАПІВСФЕРА

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ЗІЗОД – засобів індивідуального захисту органів дихання.

ХП-И - Поглинач хімічний вапняний (російською «Поглотитель химический известковый»).

Зміст

арк.

Вступ	7
1. Хімічні поглиначі вуглекислого газу, основні технічні вимоги до них, технології та обладнання для виготовлення	8
1.1. Хімічні поглиначі вуглекислого газу, основні технічні вимоги до них ..	8
1.2. Огляд конструкцій грануляторів пастоподібних хімічних продуктів	13
1.2.1. Гранулятори формування пресуванням	14
1.2.1.1. Гранулятори формування пресуванням ФП025K08 и ФП040K01	14
1.2.1.2. Гранулятори фірми Drägerwerk A.G.	16
1.2.1.3. Гранулятор фірми INTERSURGICAL LTD (Англія)	19
1.2.2. Гранулятори шнекові	20
1.2.2.1. Гранулятор ФШ010K02	20
1.2.2.2. Гранулятор ФШ015K02	21
1.2.2.3. Гранулятор ФШ020K01	24
1.2.3. Гранулятори роторні	25
1.2.3.1. Гранулятор ФР047K01	25
1.2.3.2. Гранулятор ФР070K03 в комплекті с стрічковою сушкою гранул	26
Висновки	28
2. Проектування гранулятора	30
2.1. Експериментальне визначення часу сушки гранул	31
2.2. Попередній розрахунок машини роторного типу	32
2.3. Машина зі стрічковим конвейером	32
2.3.1. Методика розрахунку продуктивності і основних параметрів гранулятора	32
2.3.2. Основні параметри барабана	33
2.3.3. Вибір параметрів формувача	34
2.3.4. Геометричні розміри формувача	34
2.3.5. Розміри сушарки	35
2.3.6. Визначення потужності приводів	36
Висновки	40
3. Розробка конструкції гранулятора	41
3.1. Технологічно-кінематична схема гранулятора	41
3.2. Загальний вигляд гранулятора	44
Висновки	53
4. Розрахунки деталей та вузлів гранулятора	54
4.1. Розрахунок сушки гранулятора	54
4.2. Розрахунки приводів гранулятора	58
4.2.1. Розрахунок зубчастої передачі приводу нагнітача	58
4.2.2. Розрахунок зубчасто-пасової передачі приводу конвейера-завантажувача	62
4.2.3. Розрахунок зубчасто-пасової передачі приводу валка-формувача	67
4.2.4. Розрахунок пружини притисного валка	70
Висновки	73
Загальні висновки	74
Перелік посилань	75
Додатки	77

Вступ

Дана робота виконувалась за завданням фірми «ТОВ ДЕЗЕГА Холдинг Україна» (Україна).

Мета роботи – розробка гранулятора пасти натрового вапна для отримання сорбенту у вигляді гранул півсферичної форми діаметром 5 мм продуктивністю 100 кг за годину.

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі задачі:

1. Огляд та аналіз способів гранулювання натрового вапна і подібних за фізичними і реологічними властивостями продуктів, схем та конструкцій обладнання для їх реалізації.
2. Розробка технологічної та кінематичної схем гранулятора.
3. Розробка конструкції гранулятора.
4. Розрахунки вузлів та деталей стану.

Результати розробки будуть використані шляхом виготовлення зразка гранулятора і експлуатації його у виробництві сорбенту фірмою «ТОВ ДЕЗЕГА Холдинг Україна».

ГЛАВА 1

ХІМІЧНІ ПОГЛИНАЧІ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ, ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО НИХ, ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ

1.1. Хімічні поглиначі вуглекислого газу, основні технічні вимоги до них

У сучасному житті, на виробництві і в побуті можливе виникнення надзвичайних ситуацій, що супроводжуються утворенням шкідливої або непридатної для дихання атмосфери. У цьому випадку основним способом для забезпечення життєдіяльності людини є застосування засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД).

Область застосування ЗІЗОД надзвичайно широка, вони використовуються:

- працівниками промислових підприємств, транспорту, шахт, рудників при виконанні регламентних робіт, пов'язаних з обслуговуванням технологічного процесу, а також при виконанні ремонтних робіт, проведення первинних заходів щодо запобігання розвитку аварій та евакуації з аварійної зони;

- цивільним населенням, які опинилися в непридатному для дихання атмосфері, що утворилася в результаті аварій, пожеж, стихійних лих, терористичних актів;

- аварійно-рятувальними формуваннями підприємств промисловості, Міністерства з надзвичайних ситуацій (МНС), а також гірничо- і газорятувальниками, які виконують завдання з ліквідації наслідків аварій на промислових підприємствах;

- підрозділами пожежних служб, які виконують завдання з гасіння пожеж.

Крім того, в даний час, засоби індивідуального захисту у вигляді дихальних апаратів активно застосовуються і в повсякденному житті, в мирний час:

- фахівцями підводних об'єктів, в системах регулювання газового середовища в водолазних барокамерах при проведенні глибоководних занурень;

- цивільним населенням, які займаються підводним плаванням - сфера діяльності людини, пов'язана перебуванням на поверхні води і під водою в спеціальному спорядженні або без нього, зі спортивними, науковими, творчими або рекреаційними цілями.

- медичними працівниками в анестезіології замкнутого циклу і інших подібних процесах.

Суттєвою особливістю хемосорбентів¹ в порівнянні з адсорбентами є їх висока поглинальна здатність на одиницю маси [2, 11]. Відомі хемосорбенти здатні поглинати вуглекислий газ в кількості значно більшій, ніж адсорбенти. Тому для очищення повітря, що видихається від вуглекислого газу в ізолюючих дихальних апаратах застосовуються тільки хемосорбентом (хімічні поглиначі).

Підвищена сорбційна ємність хімічних поглиначів забезпечується:

- високими значеннями стехіометричної, статичної активності;
- великою поверхнею пор;
- зменшенням розміру гранул (але не за рахунок збільшення їх поверхні, а в зв'язку з ростом швидкості дифузії сорбуючої речовини всередину гранул);
- великою довжиною шару поглиначів в патроні;
- рівномірним розподілом потоку повітря по поперечному перерізу патрона (збільшення середньої або миттєвої швидкості потоку повітря призводить до зменшення питомої сорбційної ємності).

Відомі методи розрахунку поглинальних і регенеративних патронів, засновані на теорії динамічної активності сорбентів. Однак в розрахункові формули входять коефіцієнти, які можуть бути визначені тільки експериментально для конкретних динамічних умов. Застосування ж

¹ Хемосорбція - процес сорбції, при якому поглинається речовина і поглинач (хемосорбентом) взаємодіють хімічно, в результаті чого утворюється нова хімічна сполука.

коефіцієнтів, отриманих при дещо інших умовах, дозволяє отримати лише орієнтовні дані. Тому розробка регенеративних патронів, як правило, проводиться шляхом аналізу роботи наявних аналогів, вибору за його результатами параметрів патрона, а потім експериментальної відпрацювання на динамічній установці, що імітує дихання людини.

До сучасних хімічних поглиначів вуглекислого газу пред'являють наступні основні технічні вимоги.

1. Поглиначі повинні мати високу питому сорбційну ємність.
2. Опір потоку повітря, що проходить через них, повинен бути якомога менший.
3. Збільшення питомої ентальпії повітря, що очищається, має бути незначним (мінімальні теплові ефекти реакцій).
4. Хемосорбент повинен мати стабільні параметри пористої структури і механічну міцність, і при роботі не виділяти речовин у вигляді газу, пари або аерозолів, які подразнюють органи дихання, а також мінімально поглинати, крім діоксиду вуглецю, інші компоненти атмосфери.
5. Хімічний поглинач повинен тривалий час зберігати свої поглинальні властивості і виготовлятися з недефіцитного і дешевого матеріалу.

Незважаючи на порівняно велику кількість хімічних з'єднань здатних в присутності парів води реагувати з діоксидом вуглецю, вимогам, що пред'являються до хімічних поглиначів, задовольняють тільки деякі хімічні речовини [2, 11].

В даний час в регенеративних дихальних апаратах зі стисненим киснем в основному застосовують два види хемосорбентів вуглекислого газу:

- вапняний поглинач, на основі гідроксиду кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$,
- лужної поглинач, на основі гідроксиду натрію NaOH .

Основними причинами переваги вапняних поглиначів перед лужними є дороговизна виробництва (LiOH) і в разі KOH і NaOH - менша поглинальна здатність.

В даний час саме гідроксид кальцію є основним компонентом для виробництва хімічних поглиначів вуглекислого газу. В регенеративних дихальних апаратах зі стисненим киснем в основному застосовують два види хемосорбентів вуглекислого газу [2, 11]:

- вапняний поглинач, на основі гідроксиду кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$,
- лужний поглинач, на основі гідроксиду натрію NaOH .

Останнім часом сплеск інтересу до хімічних поглиначів пов'язаний з розробкою систем і пристроїв, що забезпечують проведення робіт з освоєння морського шельфу і аварійно-рятувальних операцій, створення і обслуговування підводних об'єктів, в системах регулювання газового середовища в водолазних барокомплексах. Необхідно відзначити, що, незважаючи на нагальну потребу у використанні поглиначів діоксиду вуглецю для цих цілей, до теперішнього часу ця проблема далека від ефективного вирішення [2, 11]. Останнє зумовлено винятковою складністю явищ, що відбуваються в речовині хімопоглинача при взаємодії з компонентами атмосфери.

Аналіз інформаційних матеріалів по закордонним марках хімічних вапняних поглиначів (натронного вапна) і фірмам-виробникам показує [2], що розробкою поглиначів для ізолюючих засобів захисту займаються, в основному, фірми, що є і розробниками самих засобів захисту.

Провідними країнами в галузі створення вапняних хемосорбентів є Росія, Великобританія, Німеччина, США. У РФ поява нових хімічних поглиначів пов'язано з діяльністю, ОАО «Корпорация «Росхимзащита». Провідними світовими лідерами є фірми Drägerwerk (Німеччина), Grace WR and Co. (США), Armstrong Medical Ltd. (Великобританія), Micropore, Inc. (США) і ін.

За кордоном вапняний поглинач проводиться у вигляді гранул (рис. 1.1, а), півсфер (рис. 1, б), кульок, таблеток, зерна з різним фракційним складом розміром від 2 до 12 мм та під різними торговими марками: Sodalime, Baralyme, Carbolime, Sodasorb, Spherasorb, Sofnolime, Draegersorb, Intersorb і багато інших.

В даний час на ринку постійно з'являються нові марки, як правило, похідні від відомих.

Поглинач хімічний вапняний, склад та вимоги до якого встановлені ГОСТ 6755-88 (ХП-И - російською «Поглотитель химический известковый»), використовується в якості сорбенту різних газів [2, 3]. Особливо ефективний в пристроях для індивідуального захисту органів дихання людини (респіраторів) при роботі в атмосфері, що містить CO_2 , а також гази кислотного характеру, наприклад SO_2 , HCl , NO_2 і т.п. Має широке застосування у вугільній та металургійній промисловості, медицині (натронне вапно) і пожежній справі.

ХП-И є гранульований продукт білого або світло-сірого кольору (рис. 1, а), що виготовляється з вапна і гідроксиду натрію і містить не менше 96% гідроксиду кальцію і 4% гідроксиду натрію (в перерахунку на суху речовину) і має форму коротких циліндрів.



а)



б)

Рис. 1.1. Зовнішній вигляд гранул сорбенту із натрового вапна: а) у формі коротких циліндрів; б) у формі напівсфер

Є поодинокі відомості про отримання хімічного поглинача методом пресування порошків [13]. Фірма Wako Pure Chemical Industries Ltd. (Японія) в 1991 р отримала поглинач в формі таблеток, циліндрів, дисків і т.п. (рис. 1.2) при тиску пресування 200 ... 1300 кг / cm^2 .

Для підвищення міцності до стирання до складу адсорбенту додавали гідроксид лужного металу (літію, калію, натрію). Формований продукт імпрегнованої водним розчином хлориду кальцію, хлориду натрію і індикатора відпрацювання.

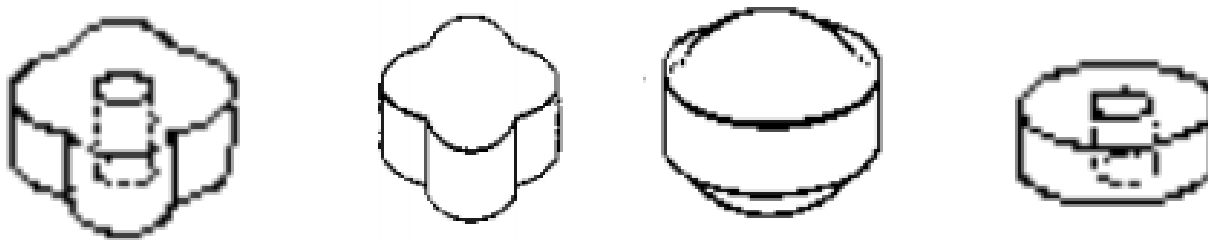


Рис. 1.2. Форми таблеток хімічних поглиначів.

Подальшого розвитку цей спосіб не отримав, можливо тому, що сухі суміші з $\text{Ca}(\text{OH})_2$ дуже погано формуються, потрібен великий тиск пресування, висока адгезія порошку гашеного вапна до металу, внаслідок чого відбувається налипання хімічної речовини на стінки прес-форми. Спосіб трудомісткий з невисоким виходом готової продукції.

Поглинач ХП-И отримують методом гранулювання водної пасти гідроксиду кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і NaOH з наступним сушінням, розсіванням і зволоженням отриманих гранул. Схема стадій технологічного процесу виробництва ХП-И представлена на рис. 1.3.

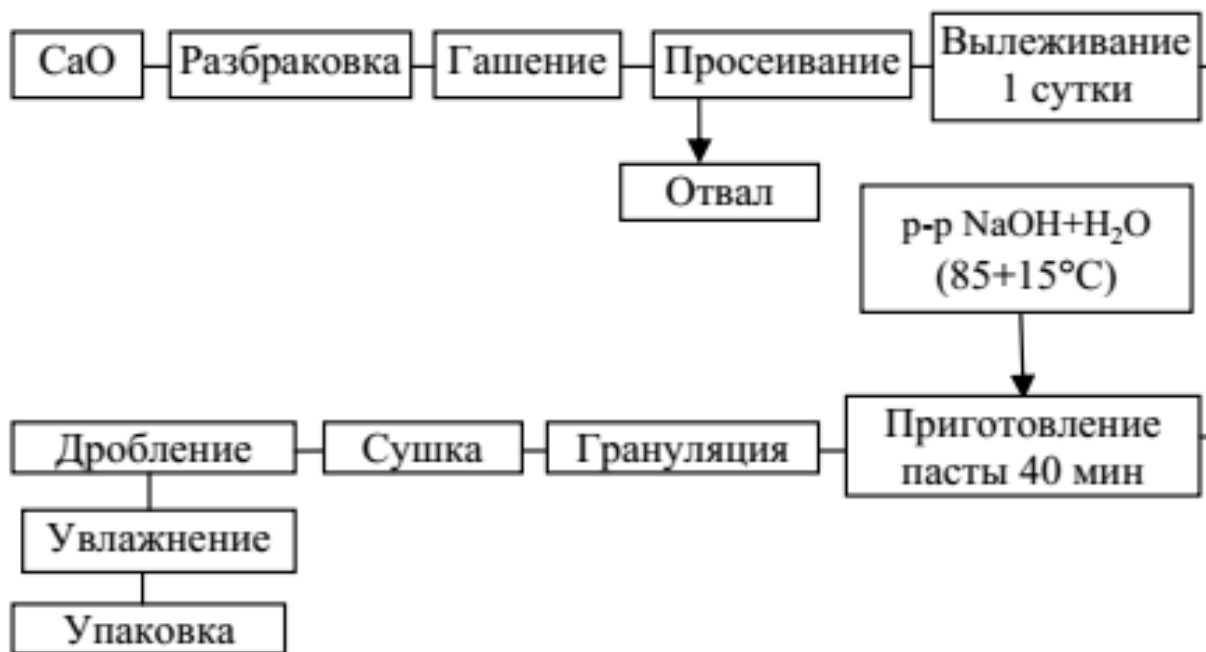


Рис. 1.3. Стадії виробництва хімічного поглинача ХП-И.

1.2. Огляд конструкцій грануляторів пастоподібних хімічних продуктів

Умовне позначення грануляторів формується наступним чином: перші літери означають тип гранулятора. Наприклад ФП, ФШ, ФР означають

відповідно: пресування, шнековий, роторний; ОТ – окатування тарілчасте; РН, РЦ – розбризкування відповідно напірне, відцентрове. Цифри за буквами означають діаметр робочого органу (см) для грануляторів формування і окатування, або площу робочої поверхні (см²) для грануляторів розбризкування. Наступна за цифрами буква означає матеріал основних деталей, що контактують з продуктом (У – вуглецева сталь, К – корозійностійка сталь); останні дві цифри – це порядковий номер моделі.

Приклад умовного позначення шнекового гранулятора формування з шнеком діаметром 300 мм з корозійностійкої сталі; друга модель: ФШ030К02.

За ступенем вибухозахищеності електрообладнання гранулятори виготовляють: з електродвигуном в загальнопромисловому виконанні (індекс А); з електродвигуном у вибухозахищеному виконанні (індекс В).

Кліматичне виконання і категорія розміщення УХЛЗ або УХЛ4 за ГОСТ 15150-69 (ред. 2010 р.).

Далі розглядаються гранулятори формування, що дозволяють отримати певну форму і розміри гранул готової продукції.

1.2.1. Гранулятори формування пресуванням

1.2.1.1. Гранулятори формування пресуванням ФП025К08 и ФП040К01

Призначені для отримання гранул у вигляді рівномірних циліндричних гранул (таблеток) з вологих порошкоподібних хімічних продуктів, головним чином каталізаторів, сорбентів, наповнювачів та інших продуктів, вологістю $18 \div 25\%$.

Гранулятори (рис. 1.4, 1.5) складаються з рами 2, завантажувального тічки, 8, живильного валка 7, ротора 9 зі встановленими в ньому штовхачами 11, і механізму приводу штовхачів 13, електродвигуна 1, редуктора 5, відкритої зубчастої пари 4, вузла знімання гранул 10, приймача гранул 12, вузла повернення просипу 6 і вузла промивки ротора 3.

Під час робіт паста, що надходить в завантажувальну тічку (бункер), захоплюється живильним валком і обертовим ротором і запресовується в отвори ротора. При подальшому повороті ротора штовхачі переміщують

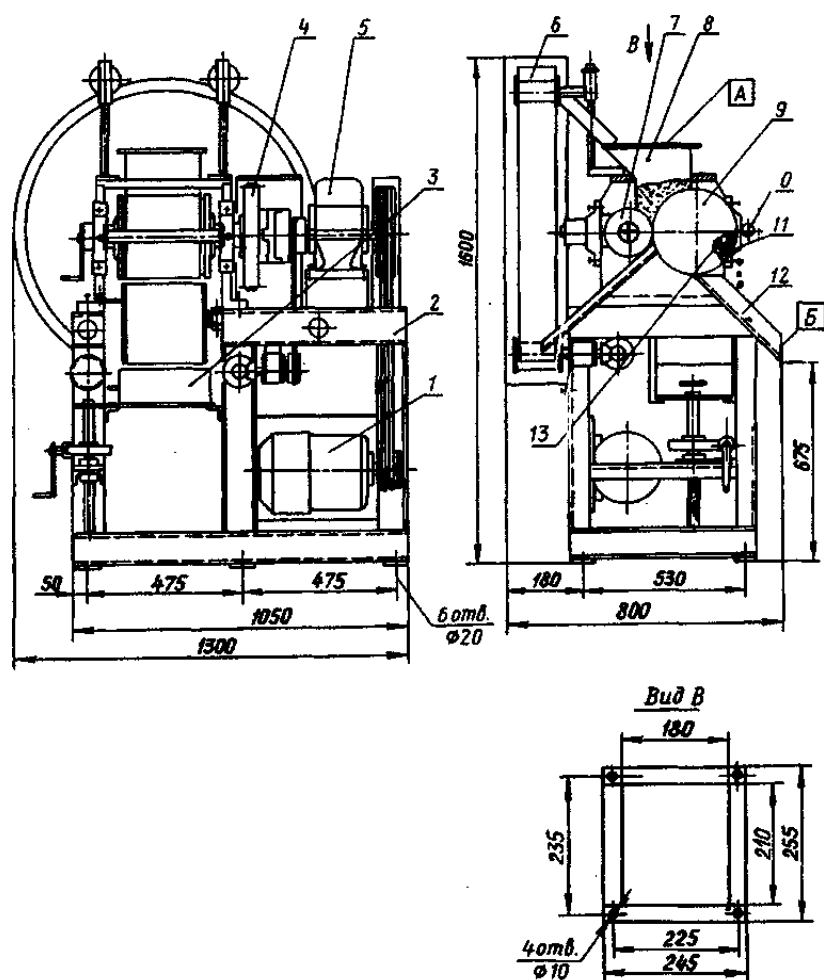


Рис. 1.4. Гранулятор ФП025К08

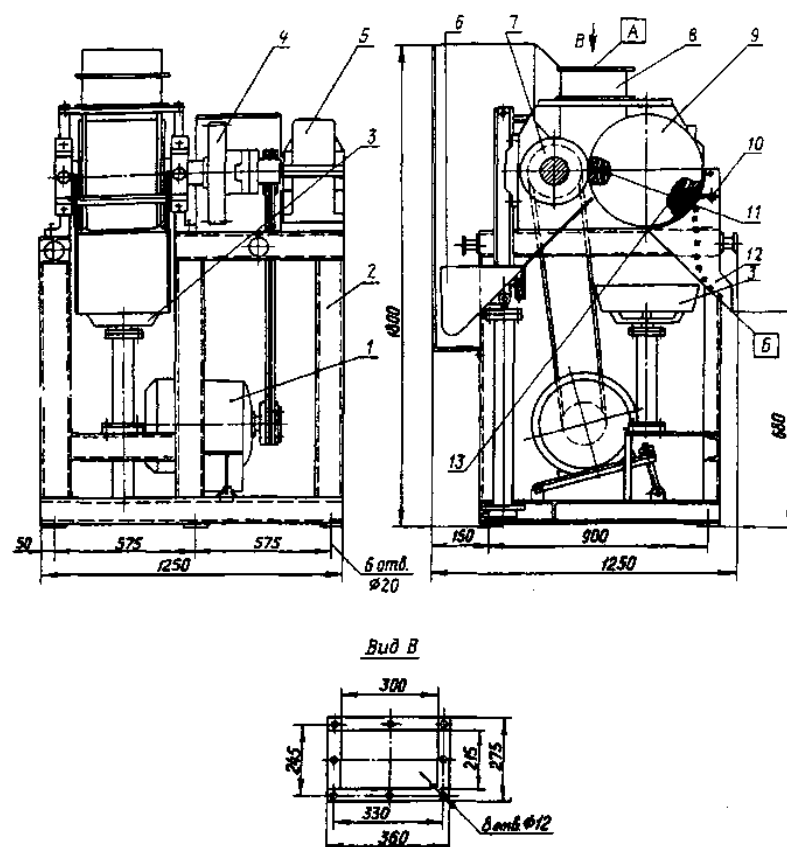


Рис. 1.5. Гранулятор ФП040К01

сформовані в отворах ротора гранули на його поверхню, звідки вони знімаються і направляються в приймач гранул. Дрібні залишки продукту (крихти, просип), що утворюються під час роботи, за допомогою вузла повернення просипу знову направляються на формування. Вузол промивання ротора забезпечує безперервну роботу гранулятора.

Технічні характеристики грануляторів наведені в табл. 1.1.

1.2.1.2. Гранулятори фірми Drägerwerk A.G.

Фірмою Drägerwerk A.G. (Німеччина) розроблений спосіб, що підвищує механічну міцність продукту, в якому гасіння, пресування і сушка здійснюються безперервно з отриманням хемосорбентом у вигляді півсфер діаметром 4 мм [12, 13]. Напівсферичні гранули виходять менш тендітні, ніж циліндричні, практично не руйнуються під час використання. Технологічна схема представлена на рис. 1.6.

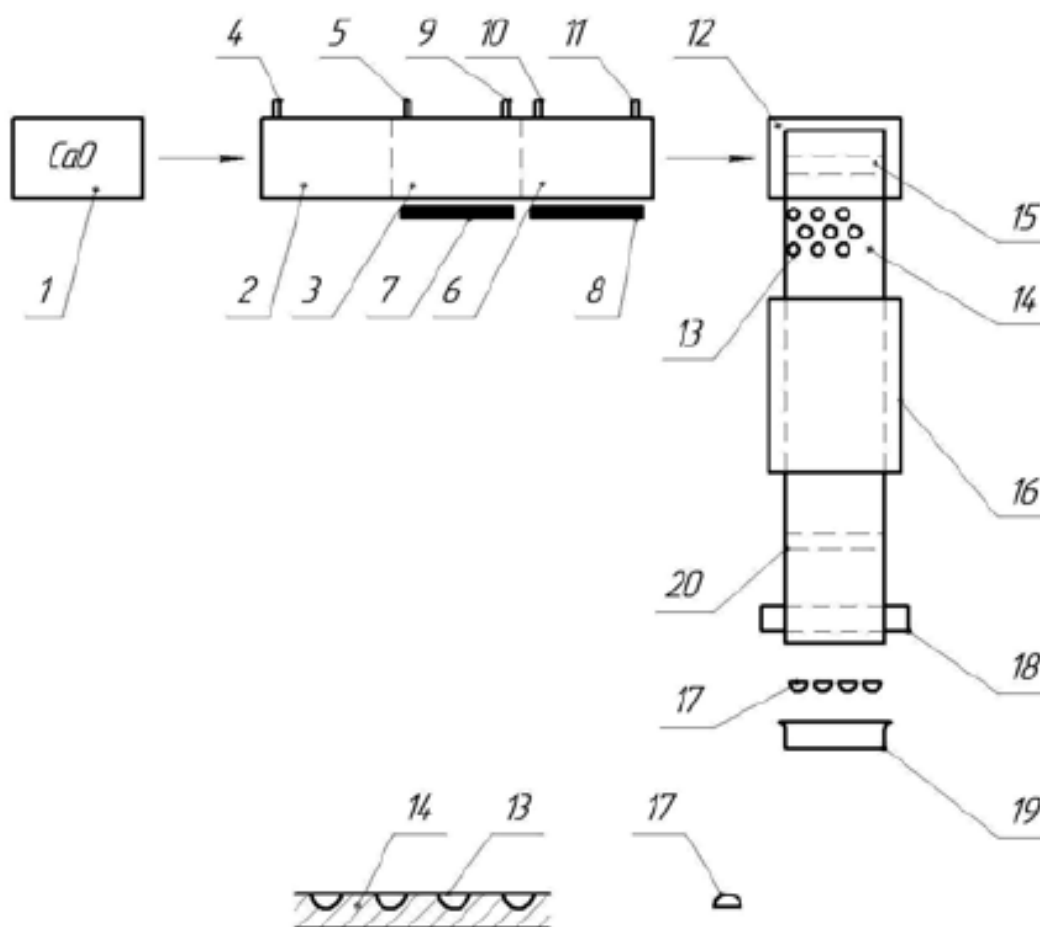


Рис. 1.6. Технологічна схема отримання гранул хемосорбенту у вигляді півсфер

Технічна характеристика грануляторів ФП025К08 і ФП040К01

Показник	ФП025К08	ФП040К01
Продуктивність за пастоподібним продуктом, кг / год (тис. піг. / год.)	До 200 (6000)	До 500 (960)
Режим роботи	Непрерывный	Непрерывный
Діаметр ротора, мм	250	400
Кількість отворів в роторі, шт.	800-1000	1300-1800
Розміри гранул, мм:		
Діаметр	4-6	4-10
Висота	4-6	4-10
Частота обертання ротора, с ⁻¹ (об / хв)	0,2(12); 0,25(15)	0,13 (8); 0,166 (10)
Електродвигун приводу:		
Тип	4A112MB8Y3	4A1122M4Y3
Потужність, кВт	3	5,5
Частота обертання, с ⁻¹ (об / хв)	12,5 (750)	24 (1440)
Тип редуктора	Ц2У-125-40-21КУ2	Ц2У-200-40-22КУ 2
Габаритні розміри, мм	1300x800x1600	1250x1250x1800
Маса, кг	500	1000

Процес здійснюється в такий спосіб. Тонко розмолоту вапно 1 і воду постійно подають в дозатор 2, транспортують в зону гасіння 3 і зону перемішування через отвори 4 і 5, одночасно і безперервно дозують воду і додають в секцію 3, потім за допомогою гвинта подають в секцію 6, де компоненти змішуються. Температуру в зоні реакції підтримують не нижче 60°C і не вище 80°C за допомогою пристроїв 7 і 8. У процесі змішування заміряють електропровідність суміші через відведення 9. Додаткові компоненти вводять до складу (секція 6) через отвір 10. Контроль процесу змішування здійснюють через відведення 11. Утворену тістоподібну масу за допомогою спеціального пристосування 12 втирають (заповнюють) в поглиблення 13 (лунки) конвеєрної стрічки 14, яка безперервно проходить через зону сушки 16. Лунки 13 перед заповненням розширюються пристроєм розширення 15, який розташований перед (під) пристроєм 12 на нижній гілці стрічки 14. Сухий продукт у вигляді півсфер 17 видаляється (витісняється) з лунок 13 за рахунок деформації стрічки 14 і додатково вібратором (осцилятором) 18, суміжним зі стрічкою 14, подається в контейнер 19. Конвеєрна стрічка 14 після вивантаження продукту очищається щіткою 20.

Поглинач в формі півсфер має, за даними авторів винаходу [13], високу

міцність і пористість, його сорбційна ємність підвищується на 30% при збільшенні виходу готового продукту і зниження трудовитрат. Конструктивні особливості гранулятора представлені в наступних пунктах домагань в патенті:

"9. Пристрій, ... який містить конвеєр з дозуючою секцією, секцією гасіння і секцією замішування в корпусі, що має окремі пристрої для регулювання температури для секцій гасіння і замішування, конвеєр, що веде до пристрою заповнення, пов'язаному з рухомою стрічкою, забезпеченою заглибленнями і спрямовується через сушарку.

10. Пристрій за п. 9, в якому конвеєр являє собою двошнековий конвеєр, що приводиться безпосередньо через муфту.

11. Пристрій за п. 9 або 10, в якому дозуюча секція має вхід для води.

12. Пристрій за п. 9, 10 або 11, в якому секція гасіння має впускний отвір для води в кінці вгорі і з'єднання для вимірювального пристрою для провідності в кінці внизу.

13. Пристрій за допомогою одного з пп. 9-12, який відрізняється тим, що секція замішування має в кінці вгорі з'єднання для додавання хімічної речовини, і на вихідному кінці - з'єднання для пристрою вимірювання моменту обертання.

14. Пристрій за допомогою одного з пп. 9-13, в якому стрічка виконана з еластичного, водовідштовхувального матеріалу, стійкого до гідроксиду кальцію.

15. Пристрій за допомогою одного з пп. 9-14, в якому пристрій для заповнення лунок є проміжним контейнер з роликом.

16. Пристрій за допомогою одного з пп. 9-14, в якому пристрій для заповнення лунок є проміжним контейнер із двірником (знімач бруду).

17. Пристрій за допомогою одного з пп. 9-16, в якому пристрій заповнення лунок і стрічка з'єднані один з одним за допомогою регулюючого пристрою, контрольованого рівнем вмісту проміжного контейнера.

18. Пристрій за допомогою одного з пп. 9-17, в якому під стрічкою в області, протилежної пристрою заповнення, розташований пристрій

розширення.

19. Пристрій за допомогою одного з пп. 6-18, в якому є поглиблення в стрічці, кожне з яких має форму півсфери.

20. Пристрій за п. 19, в якому діаметр цього півкулі становить 4 мм.

21. Пристрій за допомогою одного з пп. 9-18, в якому поглиблення в стрічці мають форму конуса.

22. Пристрій за допомогою одного з пп. 9-18, в якому поглиблення в стрічці мають форму піраміди".

За даними фірми Drägerwerk (Німеччина) в напівсферичної формі гранул DrägerSorb800Plus не відбувається утворення каналів, газ розподіляється рівномірно по всьому об'єму адсорбера, забезпечуючи більш ефективне поглинання вуглекислоти і повне використання хемосорбентом, завдяки чому поглинальна здатність продукту значно більша ніж у Draegersorb800.

Напівсферичні гранули Draegersorb800Plus відрізняються підвищеною міцністю і стійкістю до механічних впливів, що перешкоджає їх руйнуванню і утворенню пилу. Наявність в композиції кольорового індикатора, що змінює забарвлення залежно від рН середовища, дає можливість візуально оцінити ступінь виснаження хемосорбентом. Зміна забарвлення гранульованого продукту з білого на фіолетовий сигналізує про необхідність заміни адсорбенту. Хемосорбент марки Draegersorb800Plus містить: 81% Ca (OH) 2; 3% NaOH; 16% H₂O, кольоровий індикатор.

1.2.1.3. Гранулятор фірми INTERSURGICAL LTD (Англія)

Вапняний поглинач для анестезії марки Amsorb містить гідроксид кальцію як основний компонент, невелика кількість гідроксиду натрію і/або калію, воду і алюмосилікат натрію (цеоліт), індикатор в кількості 0,01 ... 0,1% [15]. Змішують необхідні кількості гідроксиду кальцію, алюмосилікат натрію і індикатора (всі компоненти в формі порошку) до утворення гомогенної порошкоподібної маси. Готують лужний розчин шляхом розчинення необхідної кількості NaOH і / або КОН в воді. Лужний розчин додають до порошкоподібної маси до утворення пасти. Пасту витримують протягом 20 ...

60 хв для утворення необхідної консистенції, після чого здійснюють формування пасти на спеціальному обладнанні для отримання сферичних гранул розміром від 3 до 4,5 мм (рис. 1.7).

Гранули піддають сушці в дві стадії: при температурі 100 і 140 ° С. Кінцевий продукт містить менше 1% води. Для підвищення хімічної активності вологість кінцевого продукту доводять до 13 ... 19%.

1.2.2. Гранулятори шнекові

1.2.2.1. Гранулятор ФШ010K02

Призначений для гранулювання пастоподібних продуктів низької пластичності. Гранулятор (рис. 1.8) [9] складається з бункера-накопичувача 4 з Z-подібним перегрібачем 5, що приводиться в обертання електродвигуном 2 з редуктором 3, двох однотипних формувачів шнекового типу і стрічкового транспортера-розкладача 7.

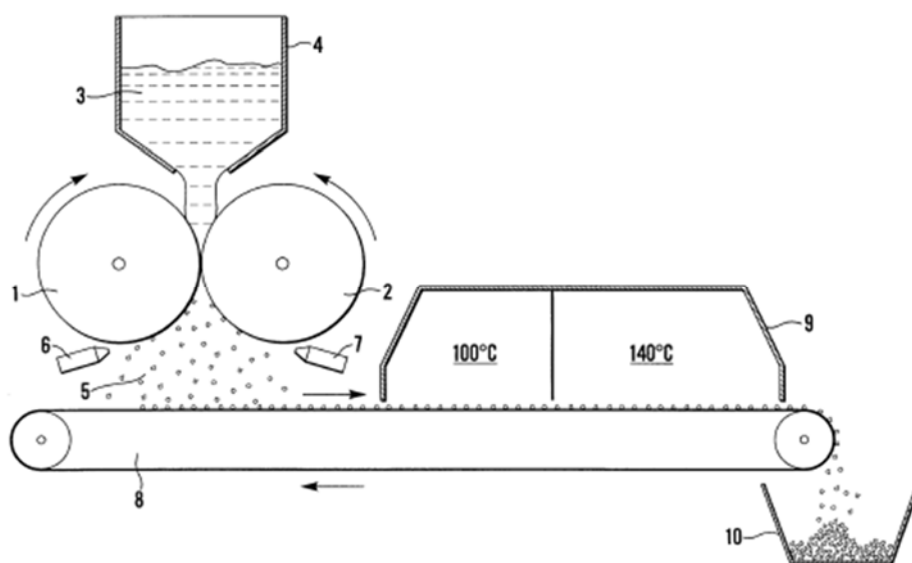


Рис. 1.7. Гранулятор фірми INTERSURGICAL LTD (Англія):

1, 2 - вальці, профільовані напівсферичними раковинами; 3 - паста;
4 - завантажувальна воронка; 5 - сферичні гранули; 6, 7 - ножі; 8 - конвеєрна стрічка; 9 - піч; 10 - сміщ

Основними елементами формувача є корпус 8, роторний нагнітач 11, фільтерна решітка 6, шнек 12, електродвигун 1 приводу шнека, редуктор 9 і варіатор 10. При роботі пастоподібний продукт завантажується в бункер-накопичувач і під дією лопатей потрапляє в роторний нагнітач формувача для

попереднього гранулювання, захоплюється роторами, нагнітається в міжвитковий простір шнека і продавлюється через фільтрні грати. Отримувані джгути під дією власної ваги обламуються і потрапляють в завантажувальну зону формувача вторинного гранулювання. Остаточно сформовані гранули потрапляють на стрічку транспортера-розкладача.

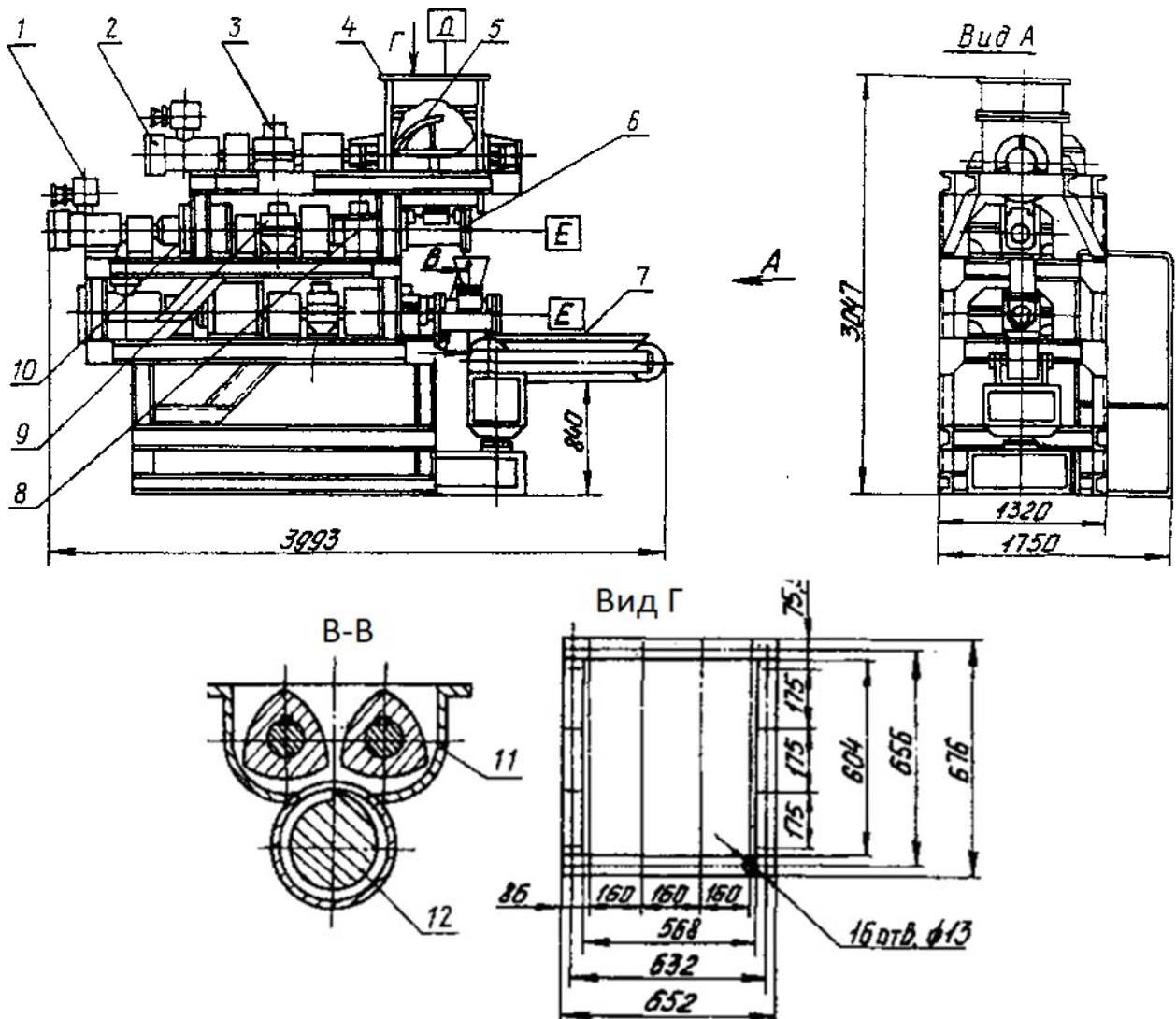


Рис. 1.8. Гранулятор ФШ010К02

1.2.2.2. Гранулятор ФШ015К02

Призначений для гранулювання пастоподібних продуктів [9].

Гранулятор (рис. 1.12) складається з формувача гранул і стрічкового транспортера-розкладача, розподіляє гранули на стрічці сушарки. Технічні характеристики гранулятора наведені в табл. 1.2. Основними елементами формувача є корпус 9, вал 3, шнек 12, гільза 11, роторний нагнітач 10,

протиральна головка 6, фільтерна решітка 5, замковий пристрій 4, привід 1 і запобіжна муфта 2. Транспортер-розкладач 7 оснащений приводом 8 стрічки транспортера і приводом маятникового руху в горизонтальній площині.

Таблиця 1.2

Технічна характеристика гранулятора ФШ010K02

Продуктивність, кг / год	400
Розмір гранул, мм:	
діаметр	3÷5
довжина	не регламентується
Режим роботи	безперервний
Діаметр шнеків, мм	100
Частота обертання, з-1 (об / хв):	
шнека (плавна регульована)	0,32-0,64 (19,2-38,4)
лопатей бункера	0,16 (9,6)
Електродвигуни приводу:	
Формувача:	
Тип	B112M4
Потужність, кВт	5,5
Частота обертання, с ⁻¹ (об / хв)	24 (1440)
Перегрібача:	
Тип	B112M8
Потужність, кВт	3
Частота обертання, с-1 (об / хв)	11,7 (700)
Тип редуктора:	
Формувача	Ц2У-160-40-21КУ2
Перегрібача	Ц2У-200-40-12КУ2
Тип варіатора формувача	ВЦ40.131.03
Транспортер-розкладальник:	
тип руху	маятниковий
число подвійних хитань на хвилину	6,75
швидкість стрічки транспортера, м / с	0,2
ширина розкладки гранул, мм	1200
Мотор-редуктор приводу:	
тип	МП32-40-22,4-КУЗ
кількість	2
Габаритні розміри гранулятора, мм	3993x1750x3047
Маса, кг	2848

Під час роботи робітні продукт надходить в завантажувальну зону формувача, захоплюється роторами живильного пристрою і подається в міжвитковий простір шнека. За допомогою шнека і протиальної головки продукт екструджується через фільтрні ґрати. Отримувані джгути під дією власної ваги обламуються і потрапляють на рухому стрічку транспортера-розкладача, за рахунок маятникового руху якого гранули рівномірно розподіляються на стрічці сушарки.

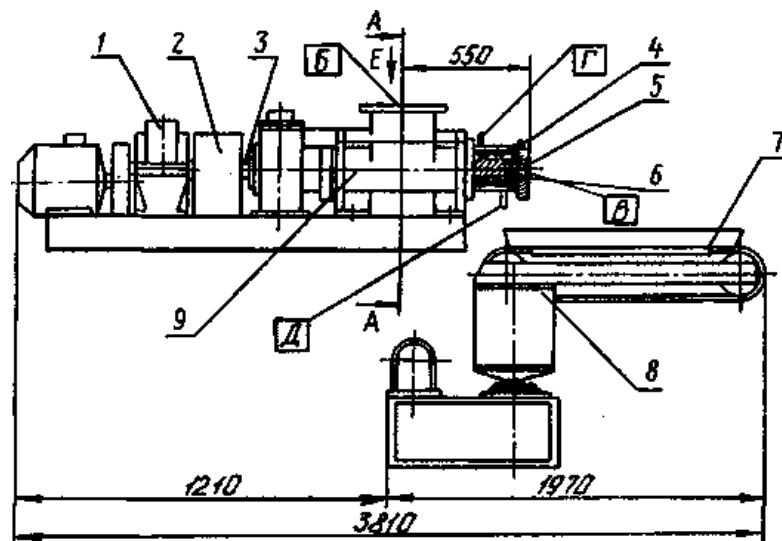


Рис. 1.9. Гранулятор ФШ015К02

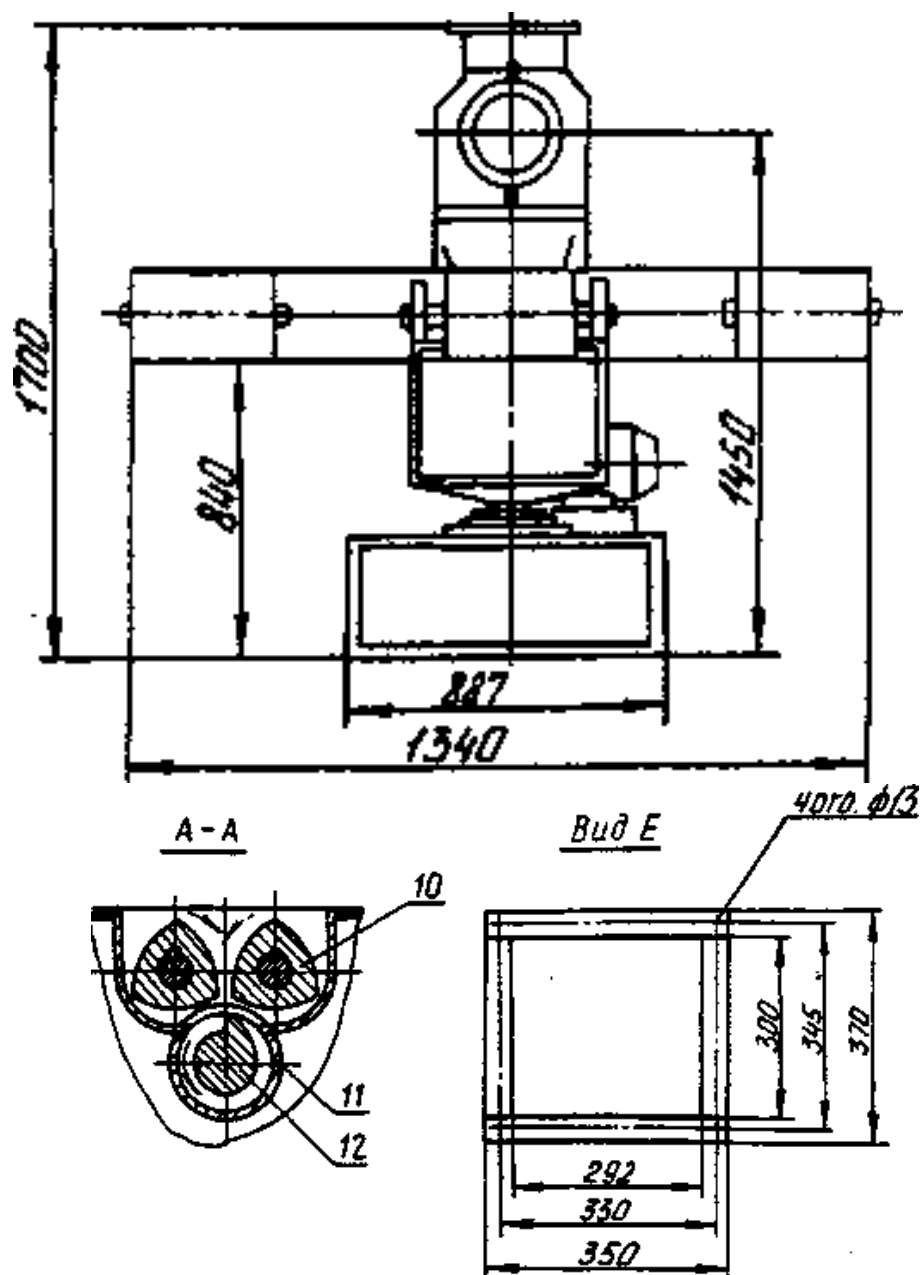


Рис. 1.9. Гранулятор ФШ015К02 (закінчення)

Технічна характеристика гранулятора приведена в табл. 1.3.

1.2.2.3. Гранулятор ФШ020K01

Призначений для гранулювання пастоподібних продуктів [9].

Гранулятор (рис. 1.10) складається з корпусу 6, завантажувальної камери 5, складеного шнека 8 з протираальною головкою 10, двохроторного нагнітача 9, фільтрної решітки 11, розташованої на поворотній турелі 7, пневмоциліндрів 12, затиску фільтрної решітки, вузла приводу, що складається з електродвигуна 1, редуктора 2, роздавальної коробки 3 і запобіжної муфти 4.

Таблиця 1.3

Технічна характеристика гранулятора ФШ015K02

Продуктивність, кг / год	500
Розмір гранул, мм:	
діаметр	5
довжина	не регламентується
Режим роботи	безперервний
Діаметр шнека, мм	150
Частота обертання шнека, с ⁻¹ (об / хв)	0,32; 0,48 (19,2; 28,8)
Електродвигун приводу формувача:	
тип	4A13284УЗ
потужність, кВт	7,5
частота обертання, с ⁻¹ (об / хв)	24,3 (1455)
Тип редуктора формувача	Ц2У-200-40-12КУ2
Транспортер-розкладач:	
тип руху	маятниковий
кількість подвійних хитань на хвилину	6,75
швидкість стрічки транспортера, м / с	0,2
ширина розкладки гранул, мм	1200
Мотор-редуктор приводу:	
тип	МП32-40-22,4-КУЗ
кількість	2
Габаритні розміри, мм	3810x887x1700
Маса, кг	1300

При роботі продукт безперервно надходить в завантажувальну камеру роторних нагнітачів, захоплюється транспортно-пресовою частиною шнека, ущільнюються і потім продавлюється через фільтрні ґрати за допомогою протираальної головки.

Технічна характеристика гранулятора приведена в табл. 1.4.

Технічна характеристика гранулятора ФШ020К01

Продуктивність, кг / год	1500
Розмір гранул, мм:	
діаметр	3-4
довжина	не регламентується
Режим роботи	безперервний
Діаметр шнека, мм	200
Частота обертання шнека, з-1 (об / хв)	0,73 (43,9)
Електродвигун приводу:	
тип	B18084Y2
потужність, кВт	22
частота обертання, с ⁻¹ (об / хв)	24,4 (1465)
Тип редуктора	Ц2У-250-31,5-21 КУ2
Габаритні розміри, мм	3680x1180x1015
Маса, кг	2100

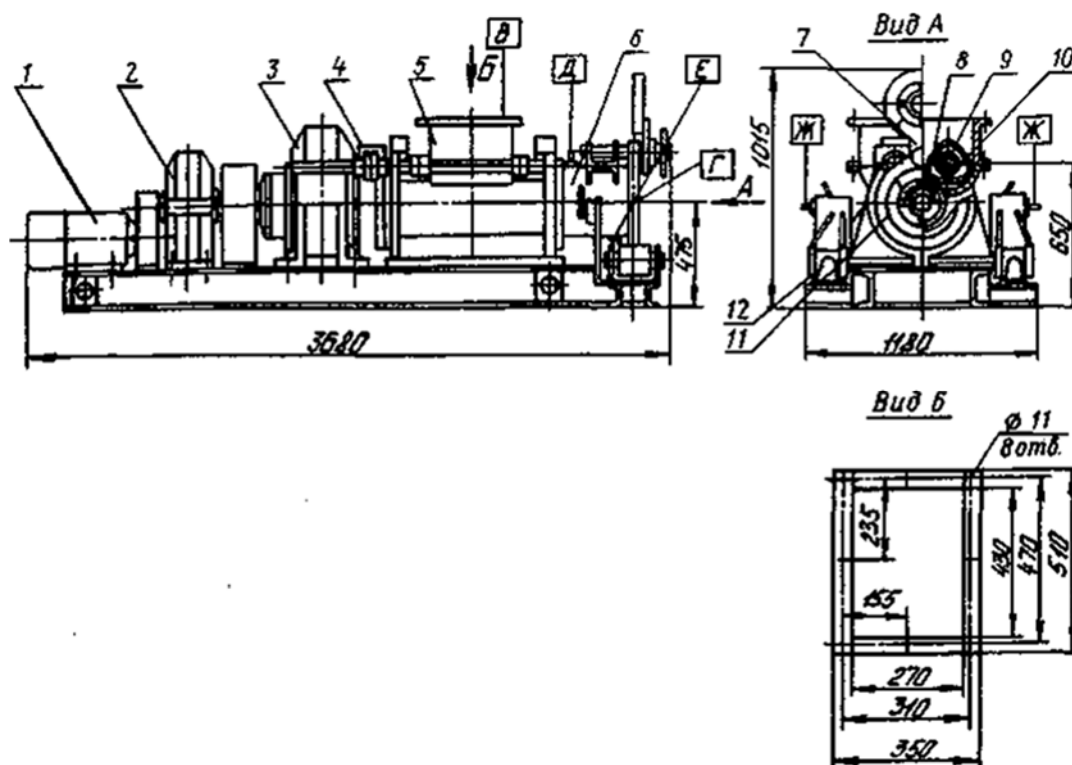


Рис. 1.10. Гранулятор ФШ020К01

1.2.3. Гранулятори роторні

1.2.3.1. Гранулятор ФР047К01

Призначений для отримання гранул з пастоподібних продуктів вологістю 40 ÷ 60% [9].

Гранулятор (рис. 1.11) складається з зварного корпусу 1 з кришками 5, фільтрної решітки 7 корито-подібного перетину, ротора, утвореного двома водилами 2, насадженими на центральний вал, валками 8, встановленими в

підшипниках водил, зубчастої передачі 4 і підірними черевиками 9 . Привід виконується від електродвигуна 6 через клинопасову передачу і редуктор 3.

При роботі паста безперервно подається в корпус гранулятора, де підхоплюється обертовими валками і продавлюється через фільтрні ґрати.

Технічна характеристика гранулятора приведена в табл. 1.5.

Гранулятор (рис. 1.12) складається з корпусу 1 з кришками; фільтрної решітки 4 коритоподібного перетину і ротора, утвореного трьома валками 2, встановленими на двох водив 3. Стрічкова сушарка складається з десяти секцій 5, розділених по ширині на дві частини, конвеєра 7, виготовленого з окремих перфорованих пластин. Привід конвеєра від приводної станції 6.

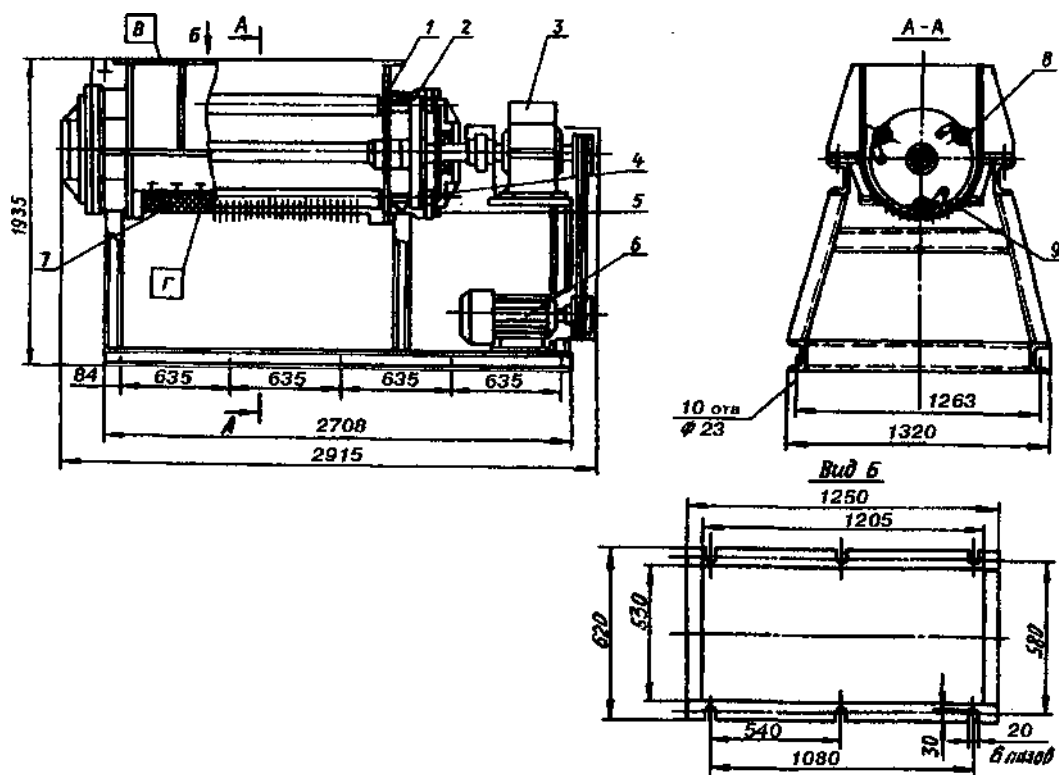


Рис. 1.11. Гранулятор ФР047К01

1.2.3.2. Гранулятор ФР070К03 в комплекті з стрічковою сушкою гранул

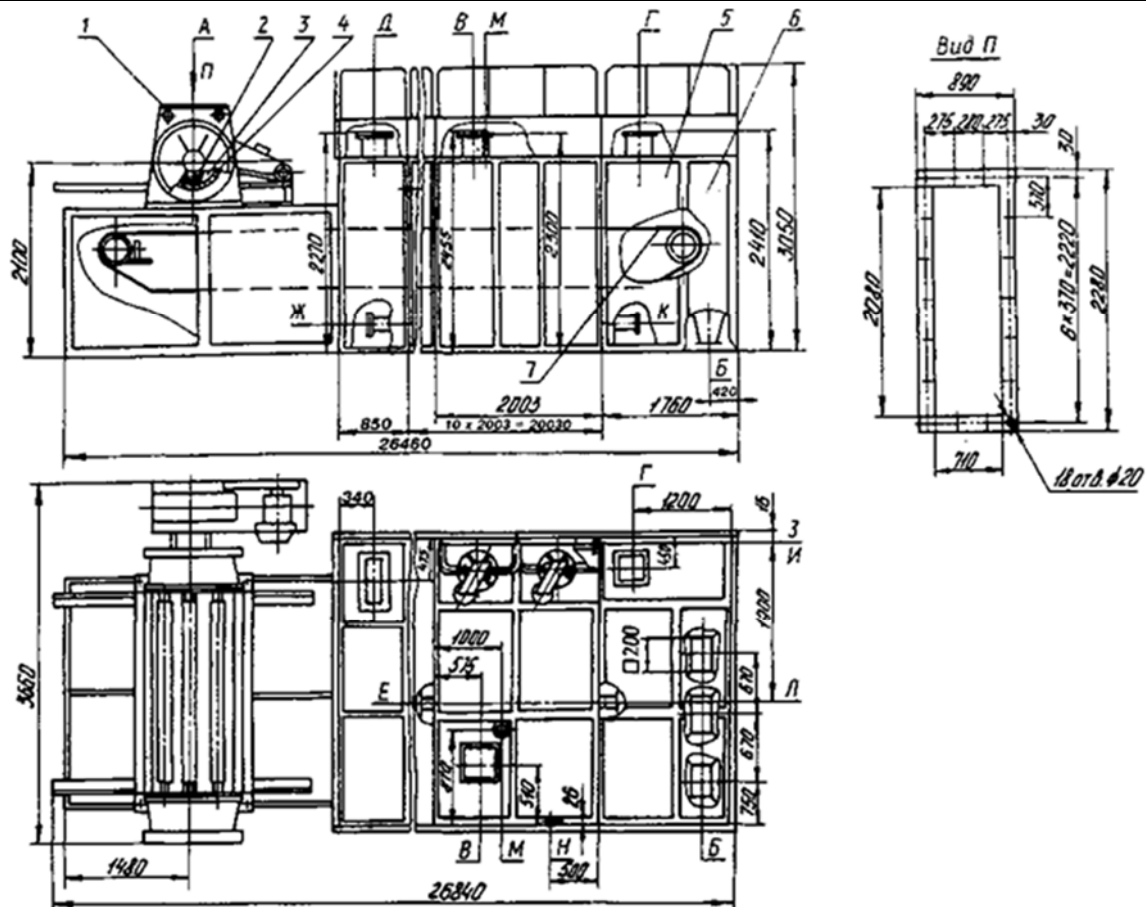
Гранулятор ФР070К03 призначений для гранулювання і сушіння паст хімікатів добавок і пігментів.

При обертанні водила формуючі валки здійснюють планетарний рух і продавлюють продукт через отвори фільтрної решітки. Циліндричні гранули

Технічна характеристика гранулятора приведена в табл. 1.6.

Техническая характеристика гранулятора ФР047К01

Продуктивність, кг / год	550
Розмір гранул, мм:	
діаметр	5
довжина	не регламентується
Режим роботи	безперервний
Діаметр ротора, мм	468
Частота обертання, з-1 (об / хв)	
води́ла	0,25; 0,33; 0,42 (15; 20; 25)
валків	1,01; 1,35; 1,4 (60,7; 81; 101)
Електродвигун приводу:	
тип	B13284
потужність, кВт	7,5
частота обертання, с-1 (об / хв)	24,3 (1460)
Тип редуктора	Ц2У-200-40-1
Габаритні розміри, мм	2915x1320x1935
Маса, кг	2660



27

Висновки

1. Ґрунтуючись на результатах проведеного аналізу пропонується базові варіанти вибрати два:

- машина роторного типу з ротором у вигляді диску;
- машина, в основі якої лежить стрічковий конвейер, подібно пристрою за патентом DE2715635 фірми Draegerwerk A.G. (Німеччина).

2. У складі проектованого гранулятора гранулятора повинні бути наступні функціональні вузли:

Таблиця 1.6

Техническая характеристика гранулятора ФР070К03

Продуктивність, кг / год	1540
Розмір гранул, мм:	
діаметр	5
довжина	не регламентується
Режим роботи	безперервний
Довжина фільєри, мм	2000
Діаметр ротора, мм	702
Діаметр формуючих валків, мм	190
Кількість формуючих валків	3
Електродвигуни приводу:	
Гранулятора:	
тип	4A160M6Y3
потужність, кВт	15
частота обертання, с ⁻¹ (об / хв)	16,7 (1000)
Транспортерної стрічки:	
тип	4A80A4Y3
потужність, кВт	1,1
частота обертання, с ⁻¹ (об / хв)	25(1500)
Тип редуктора:	
гранулятора	Ц2У-31,5Н-25-12У2
сушарки	Ц2У-200-25-22У3; 4-80-25-51-1-2-У3
Тип варіатора	ВЦ-1А-131-03
Площа робочої поверхні сушарки, м²	42,1
Температура теплоносія (повітря), °С	130
Тиск пари, що гріє, МПа (кгс / см²)	1,2(12)
Загальна поверхня нагрівання калориферів, м²	950
Ширина транспортерної стрічки, мм	2000
Максимальна висота шару продукту на стрічці, мм	20-50
Швидкість руху	
транспортерної стрічки, м / с:	0,005-0,03
Габаритні розміри, мм	26840x3660x3050
Маса, кг	59800

- бункер-накопичувач з перегрібачем (у аналога - Z-подібний);

- нагнітач (як у гранулятора ФШ010K02- призначений для гранулювання пастоподібних продуктів низької пластичності);
- пристрій наповнення лунок: ролик плюс транспортер (можливо з пристроєм розширення лунок), пристрій очищення ролика;
- можливо стрічковий транспортер-розкладальник, що розподіляє гранули на стрічці сушарки;
- сушарка з транспортером;
- пристрій видалення гранул з лунок 13 з вібратором (осцилятором).
- пристрій очищення стрічки.

3. Для вибору кінцевого варіанту потрібно виконати попередні дослідження часу сушіння гранул та розрахунки продуктивності і основних розмірів гранулятора.

ГЛАВА 2 ПРОЕКТУВАННЯ ГРАНУЛЯТОРА

2.1. Експериментальне визначення часу сушки гранул

Були проведені попередні експериментальні дослідження¹ з визначення часу сушіння гранул. Дослідження виконувались за допомогою силіконової форми (рис. 2.1, а), будівельного фену DEWALT D26411 (рис. 2.1, б) та термометра інфрачервоного (пірометра) TFA ScanTemp 330 виробництва фірми TFA - Dostmann GmbH Co, KG (Німеччина) (рис.2.1, в) .



а)



б)



в)

Рис. 2.1. Обладнання для визначення часу сушіння гранул: а) фото силіконової форми – моделі стрічки з півсферичними лунками; б) будівельний фен фірми DEWALT з плоскою насадкою; в) термометр інфрачервоного (пірометр) TFA ScanTemp 330

¹ Дослідження виконані разом з відділом хімічних досліджень фірми DEZEGA на його обладнанні і території

Таблиця 2.1.

Технічні характеристики термометра інфрачервоного TFA ScanTemp 330

Характеристики	Значення
Діапазон температури:	-50 °C...+ 330 °C/-58 °F...+626 °F
Точність:	-50°C...0°C/-58°F...+32°F: ± 4 °C/9 °F 0°C...+ 330°C/ +32...+626 °F: ± 2 °C/4 °F
Лазер:	Вихід < 1 м W 630...670 nm
Випромінювальна здатність:	0.95 тільки
Резолюція:	0.1°C / 0.1 °F
Час реагування (90%):	< 1 секунда
Оптична резолюція:	12 : 1
Живлення :	Батарейка 9 вольт
Функція автоматичного вимкнення:	Приблизно 10 секунд
Розміри:	32 x 78 x 133 мм
Вага:	97 г (тільки інструменту)

Умови проведення експерименту:

- температура 140°C на поверхні стрічки;
- Витрата гарячого повітря $V_{vg} = 300$ л/хв;
- температура повітря в потоці $T_{rov} = 350^\circ\text{C}$;
- температура на поверхні форми $T_F = 140^\circ\text{C}$;
- кут атаки повітряного потоку до поверхні форми $\chi = 45^\circ$.
- Відстань від торця фена до поверхні форми близько $l_\phi = 40$ мм.

Встановлено:

- час сушіння гранул до повного висихання $T_S = 105$ с;
- час сушіння до моменту можливого видалення з лунки $T_{Sm} = 30$ с;
- висота безпечного падіння гранули після сушіння протягом 30 с - $h_{Sm} =$

200 мм.

2.2. Попередній розрахунок машини роторного типу

Вихідні дані:

Склад натрієвого вапна (пасти):

$$-Ca(OH)_2 - 96\text{г};$$

$$-NaOH - 4\text{г};$$

$$-H_2O - 60\text{г}.$$

У відсотках:

$$-Ca(OH)_2 - \frac{CaOH_2}{CaOH_2 + NaOH + H_{2O}} \cdot 100 := 60\%;$$

$$-NaOH - \frac{NaOH}{(CaOH_2 + NaOH + H_{2O})} \cdot 100 := 2.5\%;$$

$$-H_2O - \frac{H_{2O}}{(CaOH_2 + NaOH + H_{2O})} \cdot 100 := 37.5\%.$$

Густина натрієвого вапна: $g_{ni} := 1.47 \cdot \text{г/см}^3$.

Діаметр заготовки $d_{tabl} := 5 \text{ мм}$.

Продуктивність машини: $G_m := 100 \text{ кг/год}$.

Розрахунки машини з циліндричним ротором показали (додаток А), що діаметр ротора за даних умов знаходиться в діапазоні $D_{rot} = 6.6 \div 263 \text{ м}$.

2.3. Машина зі стрічковим конвейером

2.3.1. Методика розрахунку продуктивності і основних параметрів гранулятора

Об'єм півсфери діаметром d_{tabl} : $V_{ni} := (\pi \cdot d_{tabl}^3)/(2 \cdot 6) = 3.3 \times 10^{-5} \text{ мм}^3$.

Вага однієї гранули $G_{ni} := V_{ni} \cdot g_{ni} = 0.000048 \text{ кг}$.

Продуктивність машини в шт/с: $N_m := G_m/G_{ni} = 577 \frac{1}{\text{с}} \text{ шт/с}$.

Товщина стрічки формувальника $T_{str} := 10 \text{ мм}, 15 \text{ мм}$.

До реалізації вибрана схема з модулем заповнення лунок, підсушування і вивантаження на стрічку печі основного сушіння.

На даному етапі потрібно вибрати три параметри: діаметр ротора D_p , його довжину B_r , швидкість обертання V_p .

Швидкість руху стрічок змінюється в межах $V_p = 0.004 - 0.9 \text{ м/с}$ [7, стор. 505].

2.3.2. Основні параметри барабана

Приймаємо лінійну швидкість переміщення стрічки, що змінюється від $V_{min} = 0.005 \text{ м/с}$ до $V_{min} = 0.009 \text{ м/с}$.

Відстань ΔL_Λ між сусідніми лунками в напрямку переміщення стрічки змінюється від 2 мм до 8 мм.

Відстань між центрами сусідніх лунок в напрямку переміщення стрічки:

$$L_\Lambda = [\Delta L_\Lambda + d_{tabl}] \cdot \cos(\beta),$$

де β – кут між лініями центрів сусідніх лунок, якщо вони розташовані в шаховому порядку.

Відстань між центрами сусідніх лунок по ширині стрічки:

$$L_{\Lambda ш} = \Delta L_\Lambda + d_{tabl}.$$

Якщо не враховувати фазу завантаження (перше проходження завантаженої лунки від позиції завантаження до позиції вивантаження), то продуктивність гранулятора при однорядній стрічці буде дорівнювати:

$$N_{1r} = V_p / L_\Lambda.$$

Кількість рядів на стрічці:

$$N_r = N_m / N_{1r}.$$

Ширина стрічки транспортера (ротора):

$$B_r = L_{\Lambda ш} / (N_r + 1).$$

Відстань, яку пройде гранула за час сушіння при $T_{sm} = 30 \text{ с}$ (довжина ланки стрічки від позиції заповнення лунки до її вивантаження):

$$L_{ps} = V_p \cdot T_{sm}.$$

2.3.3. Вибір параметрів формувача

Основними параметрами формувача, що впливають на його продуктивність та на металоємність, є ширина стрічки (кількість лунок в одному рядку по ширині стрічки) та швидкість її переміщення при заданому часі перебування гранули в сушарці.

Ширина стрічки обмежується можливостями виробника. При технології виготовлення, що базується на виготовленні гумових плит з розмірами 400x500x10 мм в прес-формі і їх подальшого склеювання або скріплення, максимальна ширина стрічки може бути $B_r = 500$ мм.

Чим більша швидкість переміщення стрічки, тим вища продуктивність, але разом з тим і більша довжина сушарки і довжина конвейера гранулятора.

Тому величини цих параметрів є результатом компромісу.

Приймаються наступні принципи вибору (при забезпеченні заданої продуктивності):

- чим більша швидкість V_p , тим менша ширина стрічки, але більша її робоча довжина;
- чим менша відстань між лунками, тим менша ширина стрічки.

Підходящими значеннями є швидкість $V_p = 75$ мм/(с) і відстань між лунками (найменша відстань між кромками лунок) $\Delta_{min\Lambda} = 3$ мм. При цьому ширина стрічки $B_r = 491$ мм, а робоча довжина $L_s = 2250$ мм.

2.3.4. Геометричні розміри формувача

Попередньо для реалізації приймаємо параметри:

- відстань між лунками - $\Delta_{min\Lambda_1} + d_{tabl} = 8$ мм;
- лінійна швидкість ролика (стрічки) - $V_{pI_{n_1}} = 75$ мм/с;
- кількість лунок в ряду (поперек стрічки) - $N_r = 61$ шт;
- робоча довжина стрічки - $L_{s1} = 2250$ мм.

Приймаємо діаметр ротора $D_p := 295$ мм.

Тоді кутовий крок лунок (по центрах півсфер):

$$\Delta\alpha_{\Lambda pr} = \frac{2 \cdot (\Delta_{min\Lambda 1} + d_{tabl})}{(D_p + 2 \cdot T_{str})} = 2.875713^\circ;$$

Кутова швидкість стрічки (ротора):

$$\omega_r = (2 \cdot V_{p1}) / ((D_p + 2 \cdot T_{str})) = 0.476 \text{ 1/с.}$$

Кількість обертів:

$$n_r = \frac{30 \cdot s \cdot \omega_r}{\pi} = 4.547 \text{ об/хв.}$$

Відстань між лунками по дузі (кутовий крок):

$$\Delta l_{\Lambda pr} = \left(\frac{D_p + 2 \cdot T_{str}}{2} \cdot \Delta\alpha_{\Lambda pr} \right) = 7.905 \text{ мм.}$$

Відстань між лунками по ширині стрічки $\Delta l_{ш} = 8 \text{ мм.}$

Час, за який гранула подолає кутовий крок:

$$N_\omega = \frac{\omega_r}{\Delta\alpha_{\Lambda pr}} = 9.488 \text{ с}^{-1}.$$

Тоді уточнена кількість гранул у рядку по ширині стрічки:

$$N_\Lambda = \frac{N_m}{N_\omega} = 61 \text{ шт.}$$

Уточнена ширина стрічки (з врахуванням відступів величиною $\Delta l_{ш} = 8 \text{ мм}$ від країв):

$$B_{стр} := \Delta l_{ш} \cdot (N_\Lambda + 1) = 496 \text{ мм.}$$

2.3.5. Розміри сушарки

Відстань, яку проїде гранула за час сушіння при $T_s - T_{sm} = 75 \text{ с}$ (довжина ланки стрічки від позиції завантаження з формувача до її вивантаження):

$$L_{psh} = V_p \cdot (T_s - T_{sm}).$$

При швидкості стрічки сушарки $V_{p2} = V_{p1} = 75 \text{ мм/с}$ її робоча довжина буде дорівнювати

$$L_{псуш1} = L_{rsh}(V_{p2}) = 5625 \text{ мм.}$$

Якщо ж прийняти швидкість сушарки трохи більшою, наприклад $V_{p3} = V_{p2} + 5 \text{ мм/с} = 80 \text{ мм/с}$, то її робоча довжина буде дорівнювати $L_{pсуш2} = 6000 \text{ мм}$.

Останнє гарантує відсутність необхідності транспортера-розкладача. Тоді сушарка може мати три секції з робочою довжиною стрічки по 2 м.

Відстань між центрами сусідніх лунок в напрямку переміщення стрічки:

$$\Delta L_{\Delta\text{раб}} := (\Delta_{\Delta mn} + d_{\text{tabl}}) \cdot \cos(\beta) = 7.9 \text{ мм}$$

Кут обхвату стрічки робочого ролика: $\beta_{ochv} := 2 \cdot 90^\circ$

Базова довжина стрічки формувальника з врахуванням довжини $L_{zagr} := 440 \text{ мм}$, зайнятої завантажувачем:

$$L_{str} := 2 \cdot (L_{s1} + L_{zagr}) \cdot \sin\left(\frac{\beta_{ochv}}{2}\right) + \frac{\pi}{2} \cdot \left[2 \cdot \left(D_p + \frac{T_{str}}{2}\right)\right] + \frac{\pi}{180} \cdot \left(90 \cdot \text{deg} - \frac{\beta_{ochv}}{2}\right) \cdot (D_p - D_p)$$

$$L_{str} = 6322.478 \text{ мм}$$

Кількість листів довжиною $L_{pl} := 400 \text{ мм}$ помістяться на стрічці:

$$N_{pl} = L_{str} / L_{pl} = 15.806.$$

Приймаємо $N_{pl} = 16$.

Тоді міжцентрова відстань (робоча довжина стрічки):

$$L_{s2} := \frac{N_{pl} \cdot L_{pl} - \left[\frac{\pi}{2} \cdot \left[2 \cdot \left(D_p + \frac{T_{str}}{2}\right) + \frac{\pi}{180} \cdot \left(90 \cdot \text{deg} - \frac{\beta_{ochv}}{2}\right) \cdot (D_p - D_p) \right] \right]}{2 \cdot \sin\left(\frac{\beta_{ochv}}{2}\right)}$$

$$= 2728.761 \text{ мм}$$

2.3.6. Визначення потужності приводів

Потужність двигуна приводу перегрібача [6], кВт:

$$N_v = \frac{2 \cdot K_o \cdot Z_l \cdot Z_v \cdot b_l \cdot h_l \cdot (R_v - 0.5 \cdot h_l) \cdot \omega_v}{1000 \cdot \eta},$$

де $K_o = 3 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ – питомий коефіцієнт опору руху лопатки в суміші, Н/м^2 .
 За даними [4, 5], величина цього коефіцієнта для рухливих бетонних сумішей $K=2,5 \dots 3,5 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$, для жорстких $K=1,0 \dots 2,0 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$, для твердого розчину $K=3,0 \dots 4,0 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$; $R_v = 100 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – радіус внутрішнього корпусу перегрібача (умовний); $b_l = 70 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – середня ширина лопатки; $h_l = 90 \text{ мм}$ – висота лопатки; $Z_l = 5$ – кількість лопаток на валу; $Z_v = 1$ – кількість валів; ω_v – кількість обертів валу в секунду:

$$n_{vr} = 0.755/R_v = 2.388 \text{ об/с},$$

Тоді кутова швидкість валу $\omega_{vr} = n_{vr} \cdot 2 \cdot \pi = 15.00 \text{ с}^{-1}$.

Згідно табл. 6.5 [6] у існуючого обладнання середня швидкість валу змішувача дорівнює приблизно 1 об/с. Прийmemo $n_v = 2,5 \text{ об/с}$, тоді

$$\omega_v = n_v \cdot 2 \cdot \pi = 15.708 \text{ с}^{-1}; n_v \cdot 60 = 150;$$

К.к.д. приводу $\eta = 0.75$ (із діапазону 0.75-0.85).

Потужність приводу, Вт:

$$N_v = \frac{2 \cdot K_o \cdot Z_l \cdot Z_v \cdot b_l \cdot h_l \cdot (R_v - 0.5 \cdot h_l) \cdot \omega_v}{\eta} = 2177.124 \text{ Вт},$$

де

Потужність двигуна приводу валків нагнітача:

$$N_{vn} = \frac{2 \cdot K_o \cdot Z_{ln} \cdot Z_{vn} \cdot b_{ln} \cdot h_{ln} \cdot (R_{vn} - 0.5 \cdot h_{ln}) \cdot \omega_{vn}}{\eta},$$

де $R_{vn} = 70 \text{ мм}$ – зовнішній діаметр валка нагнітача; $b_{ln} = 510 \text{ мм}$ – його довжина; $h_{ln} = R_{vn}$ – робоча висота; $Z_{ln} = 1$ – кількість валків нагнітача; $Z_{vn} = 2$ – кількість валків нагнітача;

$$n_{vn} = 0.755/R_{vn} = 2.854.$$

Приймаємо $n_{vn} = 3$.

Кутова швидкість валків нагнітача:

$$\omega_{vn} = n_{vn} \cdot 2 \cdot \pi = 18.85 \text{ с}^{-1}.$$

Кількість обертів:

$$n_{vn} \cdot 60 = 180.$$

Потужність двигуна приводу валків нагінача:

$$N_{vn} = \frac{2 \cdot K_o \cdot Z_{ln} \cdot Z_{vn} \cdot b_{ln} \cdot h_{ln} \cdot (R_{vn} - 0.5 \cdot h_{ln}) \cdot \omega_{vn}}{\eta} = 3768.4 \text{ Вт},$$

Крутний момент на валку:

$$M_{vn} = \frac{N_{vn}}{\omega_{vn}} = 199.92 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Потужність приводу валків (приблизно) визначимо за формулами [8, стор. 556-558].

Момент (момент прокатування):

$$M_{\text{пр}} = (F_k \cdot p_{cp} + F_{kr} \cdot p_{cpr}) \cdot \left(D \cdot \sin\left(\frac{\beta_0}{2}\right) + 4 \cdot d_0 \cdot \mu \right) + F_{kr} \cdot p_{cpr} \cdot \left(\frac{D}{2} \cdot f_{rs} \cdot \sin\left(\frac{\beta_{kd}}{2}\right) \right),$$

де $F_k = (30.5 + 2.5) \cdot 500$ – проекція поверхні контакту заготовки (тіста) з валком (враховуючи товщину шару 2,5 мм та ширину стрічки 500 мм) на вертикальну площину, м² (рис. 2.2); $D = 90$ мм – діаметр валка, м; $\beta_0 = 20^\circ$ – кут обхвату заготовки; $d_0 = 38$ мм – середній діаметр підшипника; $\mu = 0.01$ – коефіцієнт тертя в підшипнику; $p_{cp} = 100 \cdot 10^3$ Па – середній тиск заготовки (шару пасти) на валок ($p_{cp} = 12 - 40$ кПа); $f_{rs} = 0.8$ – коефіцієнт тертя сталі по гумі; $\beta_{kd} = 5^\circ$ – дуга контакту гуми при її деформації на 0.2 мм; $p_{cpr} = 30 \cdot 10^3$ Па – тиск при стисканні гуми на 0.2 мм [10]; $F_{kr} = 2 \cdot (0.1 \cdot 500) \text{ мм}^2$.

$$M_{\text{пр}} = (F_k \cdot p_{cp} + F_{kr} \cdot p_{cpr}) \cdot \left(D \cdot \sin\left(\frac{\beta_0}{2}\right) + 4 \cdot d_0 \cdot \mu \right) + F_{kr} \cdot p_{cpr} \cdot \left(\frac{D}{2} \cdot f_{rs} \cdot \sin\left(\frac{\beta_{kd}}{2}\right) \right) = 28.856 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Кутова швидкість валка:

$$\omega_{vp} = \frac{2 \cdot V_p}{D}.$$

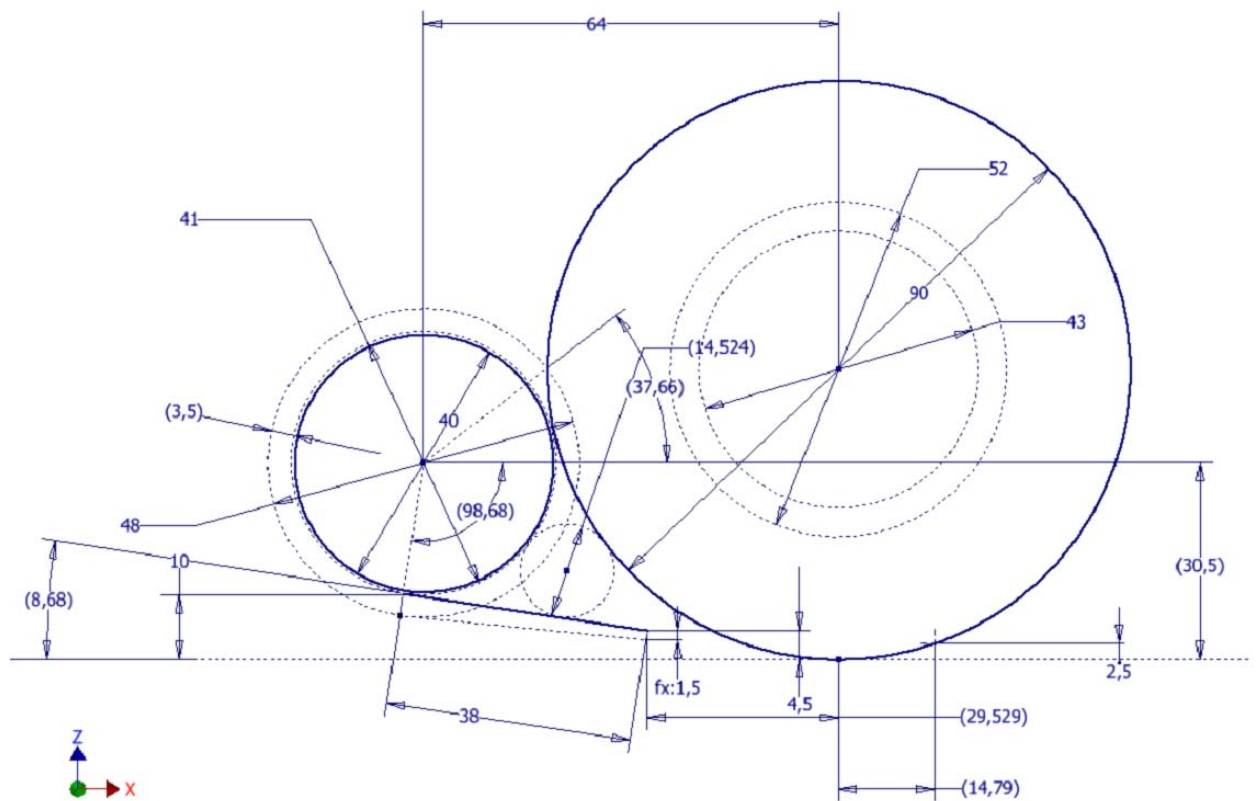


Рис. 2.2. Схема робочої зони валка-формувача

Потужність приводу валка формувача:

$$N_{np} = (M_{np} \cdot \omega_{vp}) / \eta = 192 \text{ Вт.}$$

Вертикальна сила на формувальний валок від прокатування шару пасти та від деформації стрічки:

$$F_{vt} = F_{kg} \cdot p_{cp} + F_{krg} \cdot p_{cpr} = 3390 \text{ Н,}$$

де $F_{krg} = 2 \cdot (4.2 \cdot 10^{-3} \cdot 500 \cdot 10^{-3})$, м² – площа контакту валка зі стрічкою при деформації останньої на 0.1 мм в м²; $F_{kg} = 42.6 \cdot 10^{-3} \cdot 500 \cdot 10^{-3}$, м² – площа контакту валка з шаром пасти товщиною 2.5 мм.

За представленою методикою розроблена програма в Mathcad (Додаток Б) і виконані проектні розрахунки механічної частини гранулятора.

Висновки

1. Результати розрахунків машини з циліндричним ротором показали, що діаметр ротора за даних умов є занадто великим, що негативно вплине на масо-габаритні параметри.

2. За результатами попередніх експериментальних досліджень технологічна схема гранулювання пасти розбивається на три частини:

- підготовка пасти;
- гранулювання і попередня сушка на протязі 30 с;
- кінцева сушка на протязі не менше 75 с в стрічковій сушарці або в термошафах.

3. До реалізації гранулятора приймається схема, в основі якої лежить стрічковий конвейер.

ГЛАВА 3

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ГРАНУЛЯТОРА

3.1. Технологічно-кінематична схема гранулятора

Відповідно до попередніх результатів попередніх досліджень та розрахунків, викладених у розділах 1 та 2, розроблена технологічно-кінематична схема гранулятора (рис. 3.1).

В своїй основі машина є стрічковим конвейером [16], стрічка якої вкрита напівсферичними лунками діаметром 5 мм (рис. 3.1). Готова до використання (замішана) паста порціями (по чотири за годину) подається в бункер, в якому додатково розмішується і рівномірно розподіляється по перерізу перегрібачем і нагнітається двовалковим нагнітачем на два валки, що обертаються назустріч один одному і утворюють вузьку щілину, довжина якої відповідає ширині стрічки конвейера. Менший за діаметром валок є рухомим для регулювання товщини шару пасти, що подається додатковим конвейером, який розташований під валками. Для очищення валків подачі пасти вони обладнуються спеціальними ножами. А стрічка додаткового конвейера очищується об робочу стрічку при збіганні з переднього валка. Робоча зона машини утворюється валком нагнітання та робочою стрічкою, які рухаються назустріч один одному. При цьому величина зазору між циліндричною поверхнею валка нагнітання та робочою поверхнею стрічки підтримується нульовою. Внутрішні торцеві поверхні корпусу валка нагнітання розташовані на відстані, що дорівнюють ширині робочої стрічки і обмежують робочу зону з торців. Таким чином надлишки пасти в робочій зоні можуть видавлюватись тільки в напрямку протилежному напрямку руху робочої стрічки. На невеликій відстані від валка нагнітання в цій зоні паралельно валку розташований горизонтальний шнек зі спеціальним ножем, який подає надлишок пасти в

вертикальний шнек, а звідти – в бункер. Із робочої зони паста в лунках потрапляє в зону сушки за допомогою інфрачервоних випромінювачів. На ведучому валку, який має бочкоподібний профіль, робоча стрічка перегинається, лунки деформуються і гранули вивалюються у приймальний контейнер або на стрічку перевантажувального транспортера (на рисунку не показаний). Для додаткової дії на стрічку з видалення гранул на її спадній ланці встановлений вібраційний механізм з електромагнітами ЭМ1.

Для очищення і підготовки робочої стрічки до роботи на її спадній ланці встановлені обертова щітка та мийка високого тиску (до 15 МПа). Далі стрічка сушиться за допомогою інфрачервоних панелей. Перед входом лунок в робочу зону вони розширюються за допомогою механізму розширення лунок. Його дія побудована на ефекті гістерезису матеріалу стрічки (каучуку, гуми) за деформацією [1], що сприяє кращому видаленню висушених гранул із лунок в зоні вивантаження. Під час роботи лінійні швидкості робочої стрічки, стрічки подачі та валків підтримуються однаковими за рахунок системи керування (приводи М6 та М1) та двосторонньої зубчасто-пасової передачі Z3, Z4 та Z5.

Короткі характеристики приводів:

- М1 - головний привод конвеєра, черв'ячний мотор-редуктор, номінальне число обертів $n_1 = 5$ об / хв, потужність $N_1 = 3$ кВт.

- М2 - привід ролика формувача, черв'ячний мотор-редуктор, номінальне число обертів $n_2 = 10$ об / хв, потужність $N_2 = 1.5$ кВт, діапазон регулювання частоти - 3 (5-15 об / хв).

- М3 - привід нагнітача пасту, черв'ячний мотор-редуктор, номінальне число обертів $n_3 = 30$ об / хв, потужність $N_3 = 3.0$ кВт, діапазон регулювання частоти - 2 (30-60 об / хв).

- М4 - привід перегрібача пасту, черв'ячний мотор-редуктор, номінальне число обертів $n_4 = 30$ об / хв, потужність $N_4 = 2.2$ кВт, діапазон регулювання частоти - 2 (30-60 об / хв).

- M5 - привід розширювача лунок, черв'ячний мотор-редуктор, номінальне число обертів $n_5 = 10$ об / хв, потужність $N_5 = 0.5$ кВт, діапазон регулювання частоти - 1.5 (10-15 об / хв).

- M6 - привід подачі суміші до ролика-формувача, повинен забезпечувати однакову лінійну швидкість з приводом конвеєра, мотор-редуктор, номінальне число обертів $n_6 = 16$ об / хв, потужність $N_6 = 0.5$ кВт, діапазон регулювання частоти - 2 (16-32) об / хв).

- M7 - привід щітки, планетарний мотор-редуктор, номінальне число обертів $n_7 = 300$ об / хв, потужність $N_7 = 1.0$ кВт, діапазон регулювання частоти - 2 (300-600) об / хв).

- M8 - привід шнека прибирання залишків пасти з стрічки, черв'ячний мотор-редуктор, номінальне число обертів $n_8 = 10$ об / хв, потужність $N_8 = 0.75$ кВт, діапазон регулювання частоти - 2 (10-20 об / хв).

- M9 - привід шнека повернення залишків пасти, черв'ячний мотор-редуктор, номінальне число обертів $n_9 = 10$ об / хв, потужність $N_9 = 0.75$ кВт, діапазон регулювання частоти - 2 (10-20 об / хв).

- M10 і M11 - приводи вентиляторів для підведення і відведення повітря.

- EM1 - вібратор електромагнітний.

3.2. Загальний вигляд гранулятора

В основі компонування гранулятора лежить паралелепіпед з невеликим виступом такої ж форми в задній верхній частині (рис. 3.2). Власне основна конструкція гранулятора обрамлена облицюванням, яке складається із рами облицювання (рис. 3.3), одинадцяти панелей (рис. 3.2) та п'яти дверей, що рухаються на роликівих напрямних. Панелі та двері виконані із гнутого листа.

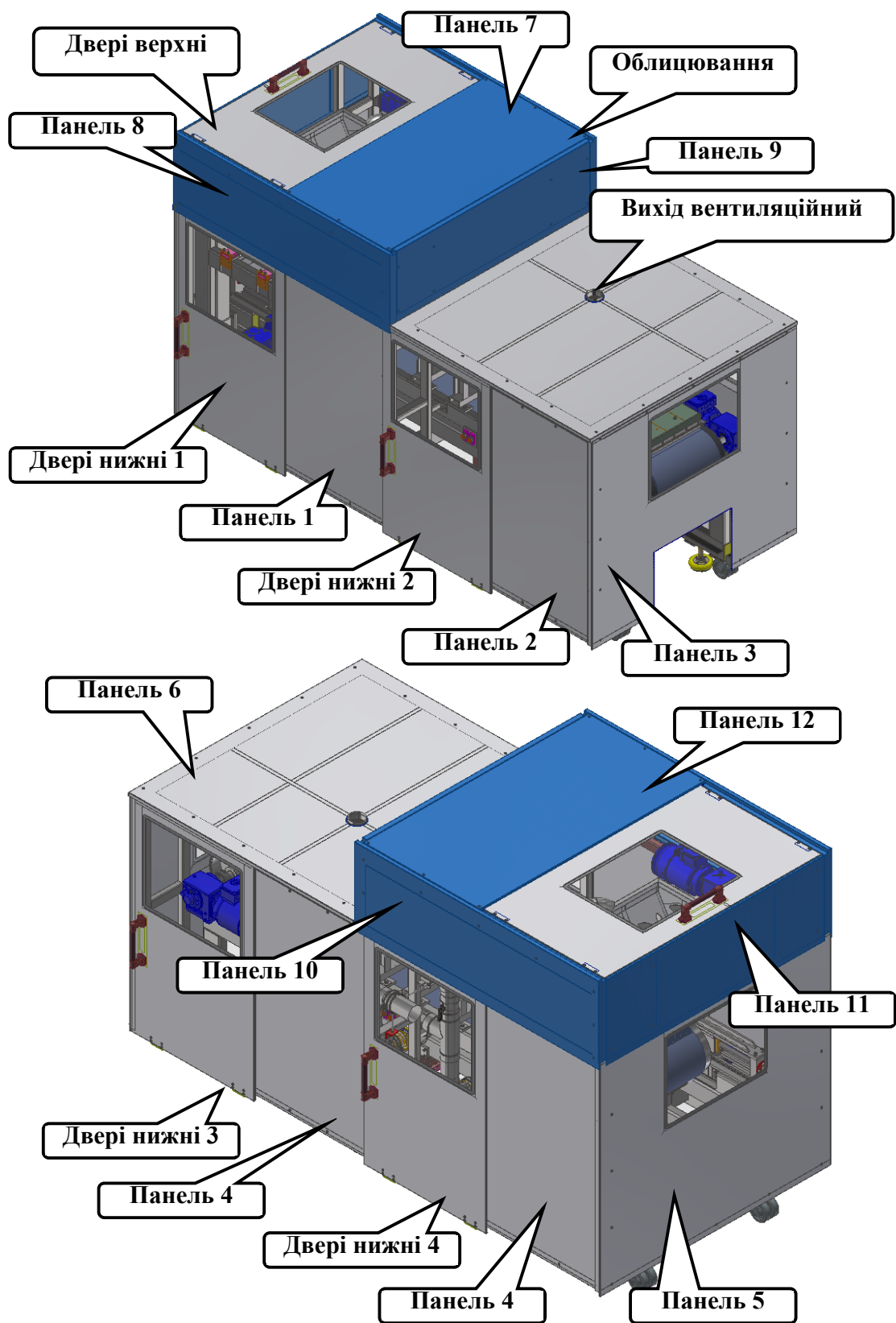


Рис. 3.2. Загальний вигляд гранулятора

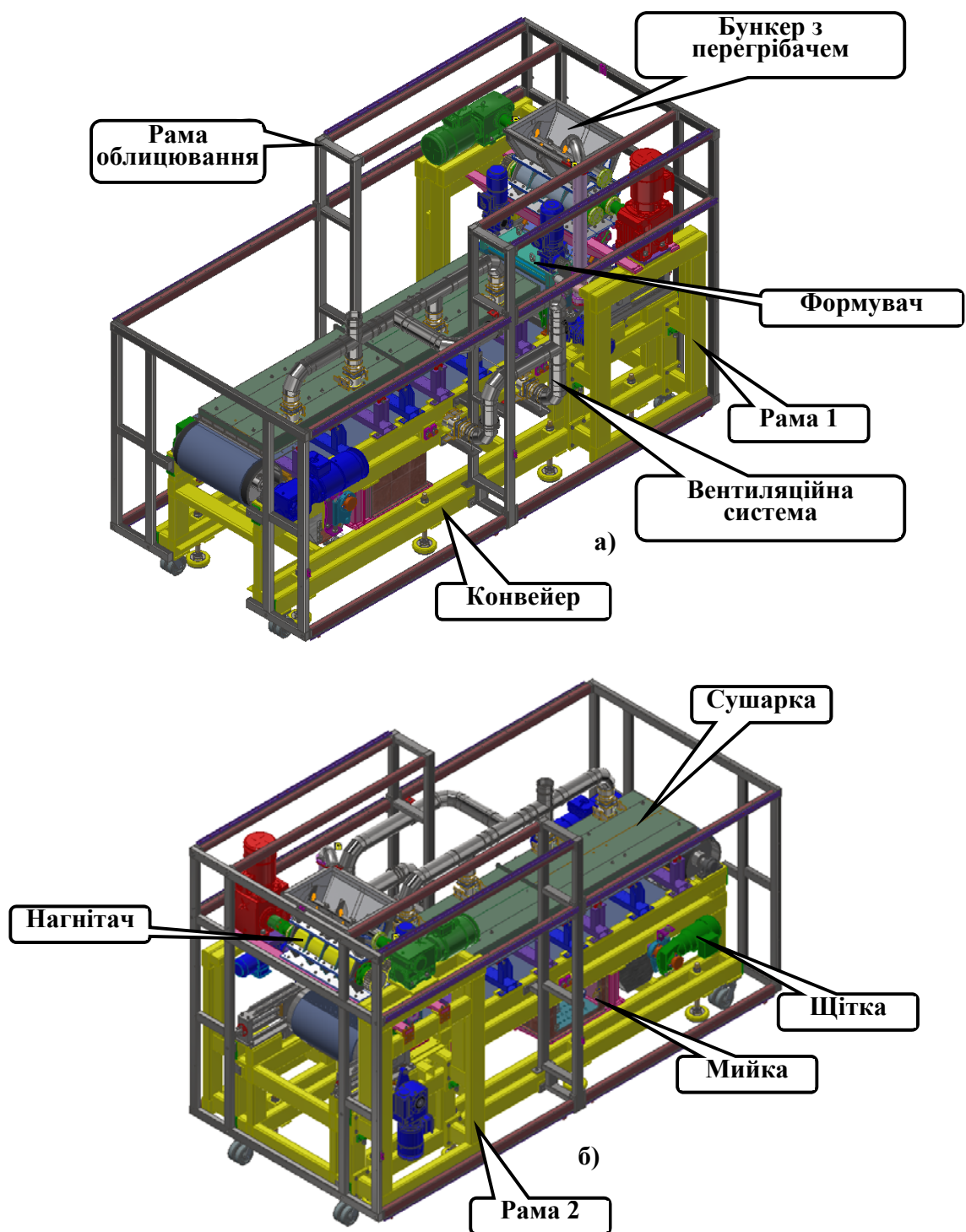


Рис. 3.3. Загальний вигляд гранулятора без панелей облицювання

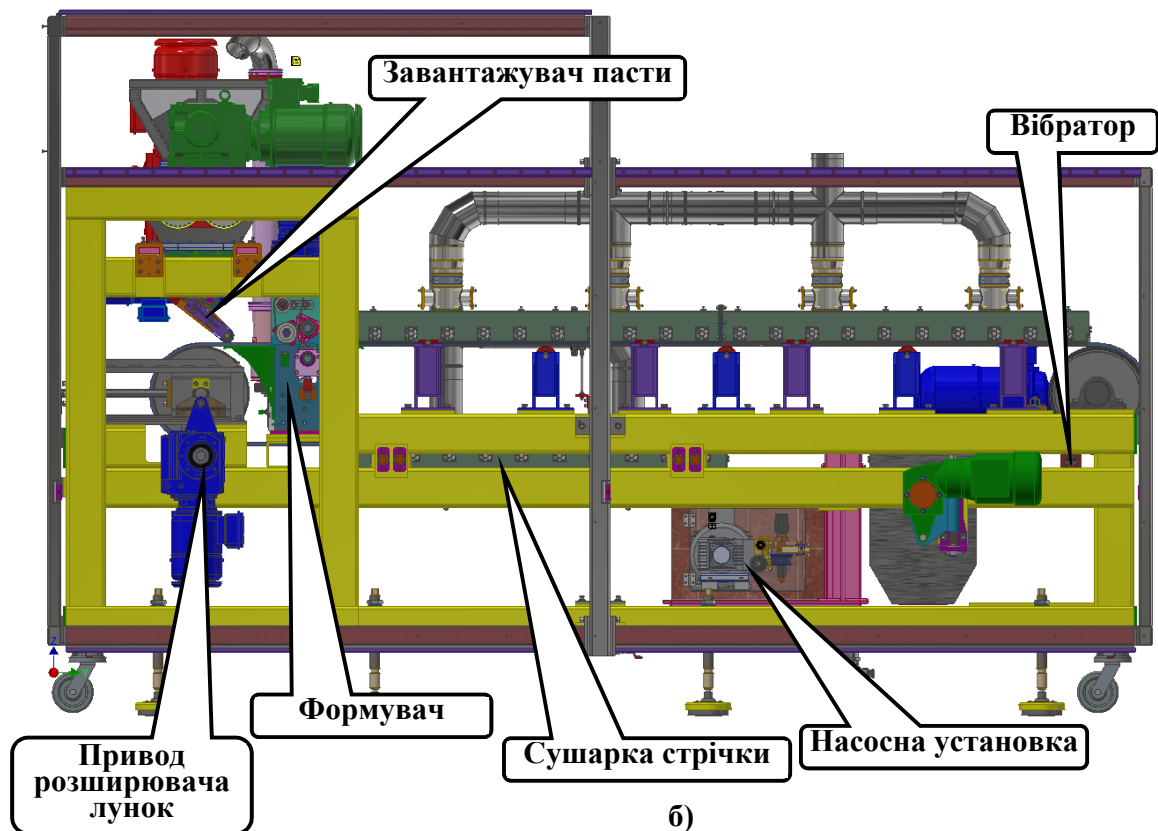


Рис. 3.3. Загальний вигляд гранулятора без панелей облицювання (закінчення)

Рама облицювання складається із чотирьох зварних рам, що кріпляться в поперечному напрямку до рами конвейера. У поздовжньому напрямку ці чотири рами зв'язуються між собою окремими балками. Рами і балки облицювання виконані із прямокутної труби 60x30x3 мм.

Склад і послідовність з'єднання вузлів гранулятора в одне ціле відповідає кінематично-технологічній схемі (рис. 3.1). Базою для вузлів є рама конвейера (рис. 3.4), конструкція якого є класичною для стрічкових конвейерів, крім рами та натяжного механізму.

Бункер з перегрібачем та нагнітач (рис. 3.5) теж по суті є класичною конструкцією для цього типу машин. Виключенням є валок нагнітача, конструкція якого є зварною із труб та листового матеріалу.

Конструкція завантажувального пристрою (рис. 3.6) є оригінальною і складається із двох частин – проміжного бункера та завантажувального конвейера.

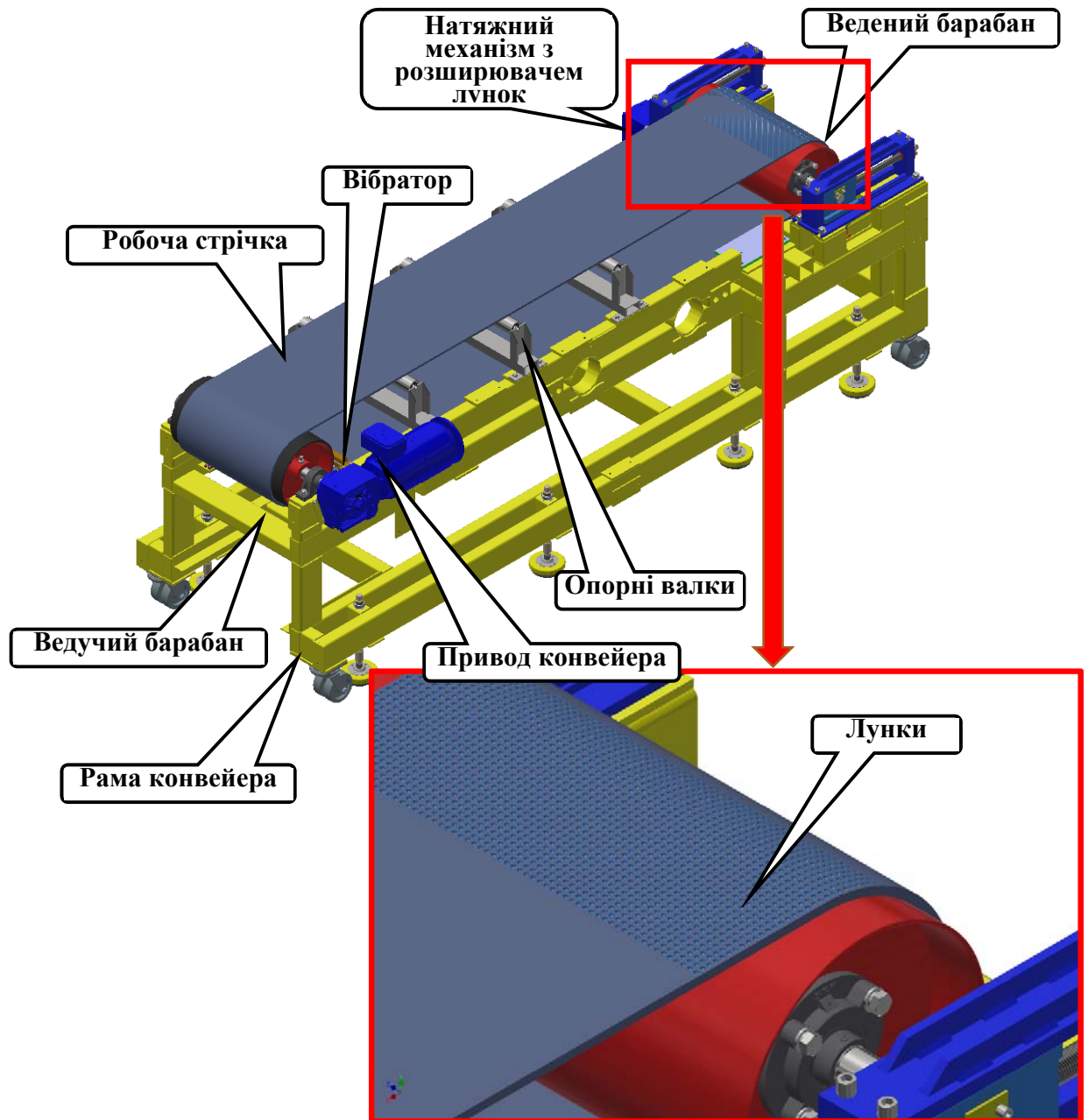


Рис. 3.4. Конвейер

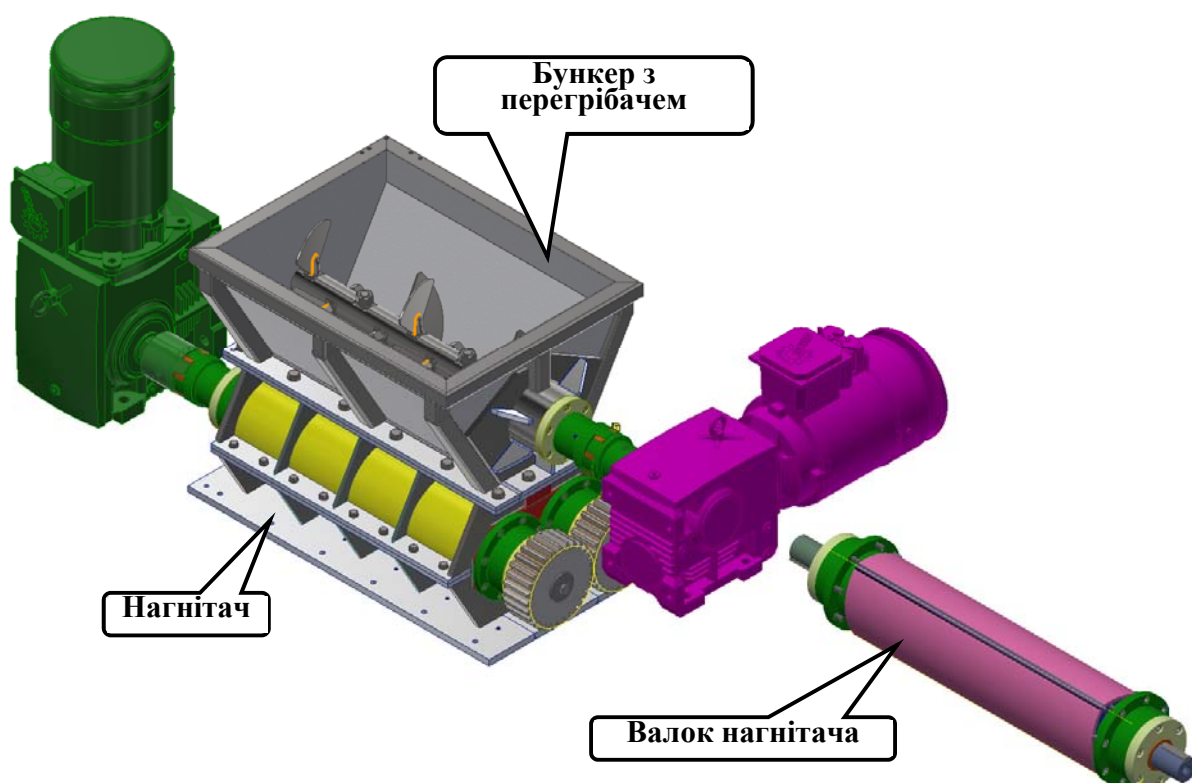


Рис. 3.5. Бункер з перегрібачем та нагнітач

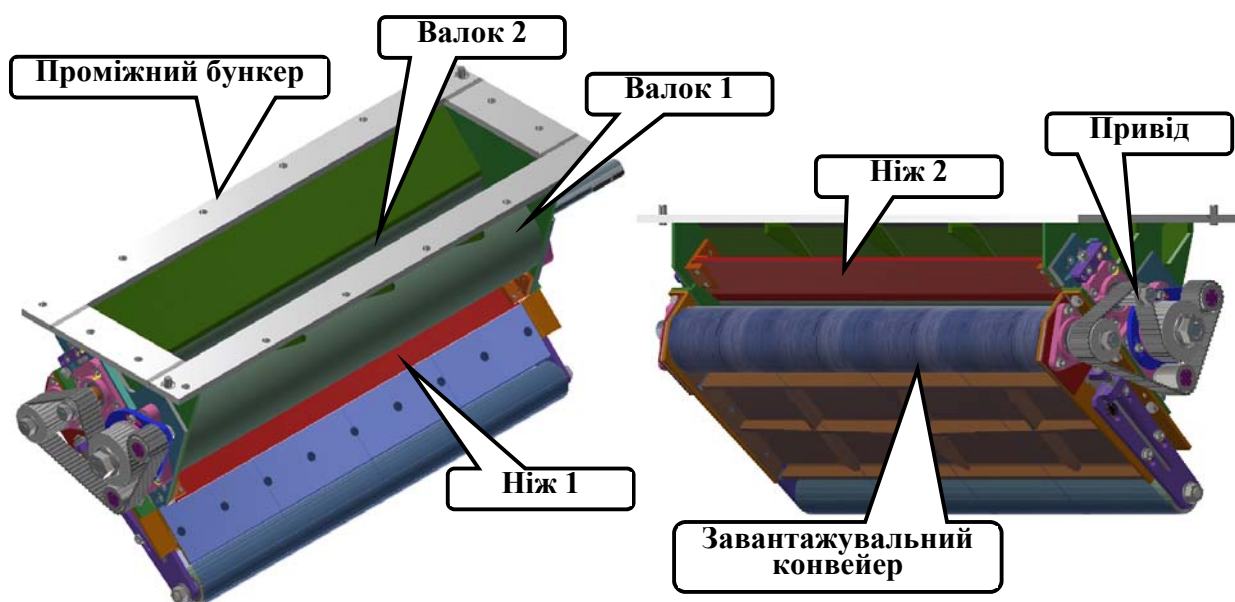


Рис. 3.6. Завантажувальний пристрій

Проміжний бункер у нижній своїй частині має два валки – нерухомий, більшого діаметру, і рухомий, меншого діаметру. Зазор між їхніми радіальними поверхнями визначає величину шару пасти, що буде подаватись вниз на стрічку завантажувального конвейера. Валки обертаються назустріч один одному від приводу з двостороннім зубчастим пасом. Для очищення валків від можливого налипання пасти встановлені два ножі.

Формувач теж має оригінальну конструкцію (рис. 3.7). В його основі лежить два валки – нагнітання та притискний. Сила притискання регулюється

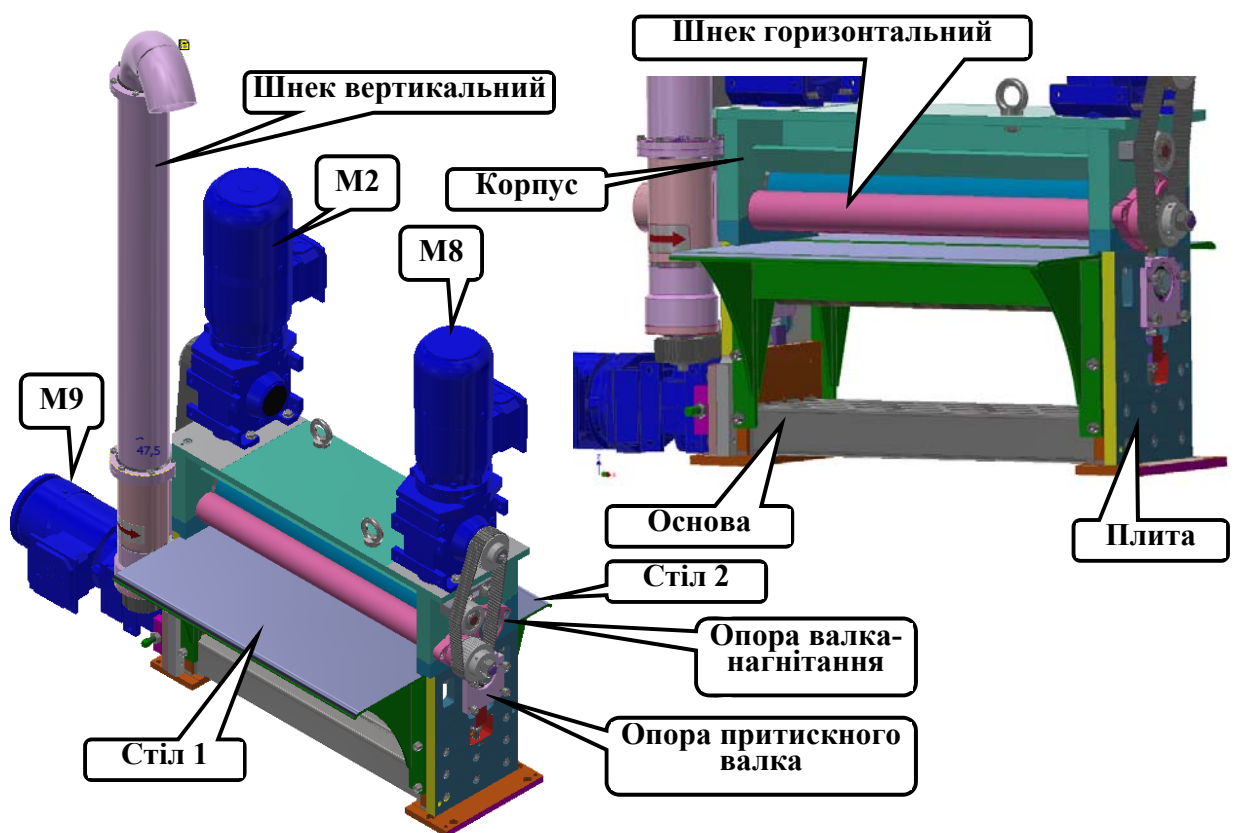


Рис. 3.7. Загальний вигляд формувача

пружиною 23 (рис. 3.8). Робоча зона формувача утворюється верхньою поверхнею стрічки (рис. 3.4), внутрішніми вертикальними стінками корпусу (рис. 3.7) (що примикають до стрічки) та радіальною поверхнею валка нагнітання (дивіться також рис. 3.9). Для видалення залишків пасти із робочої зони призначені шнеки – горизонтальний та вертикальний. Корпус горизонтального

шнека 4 (рис. 3.9) має спеціальну гребінку, яка пропускає до валка нагнітання шар пасти, але направляє потік випукування до горизонтального шнека.

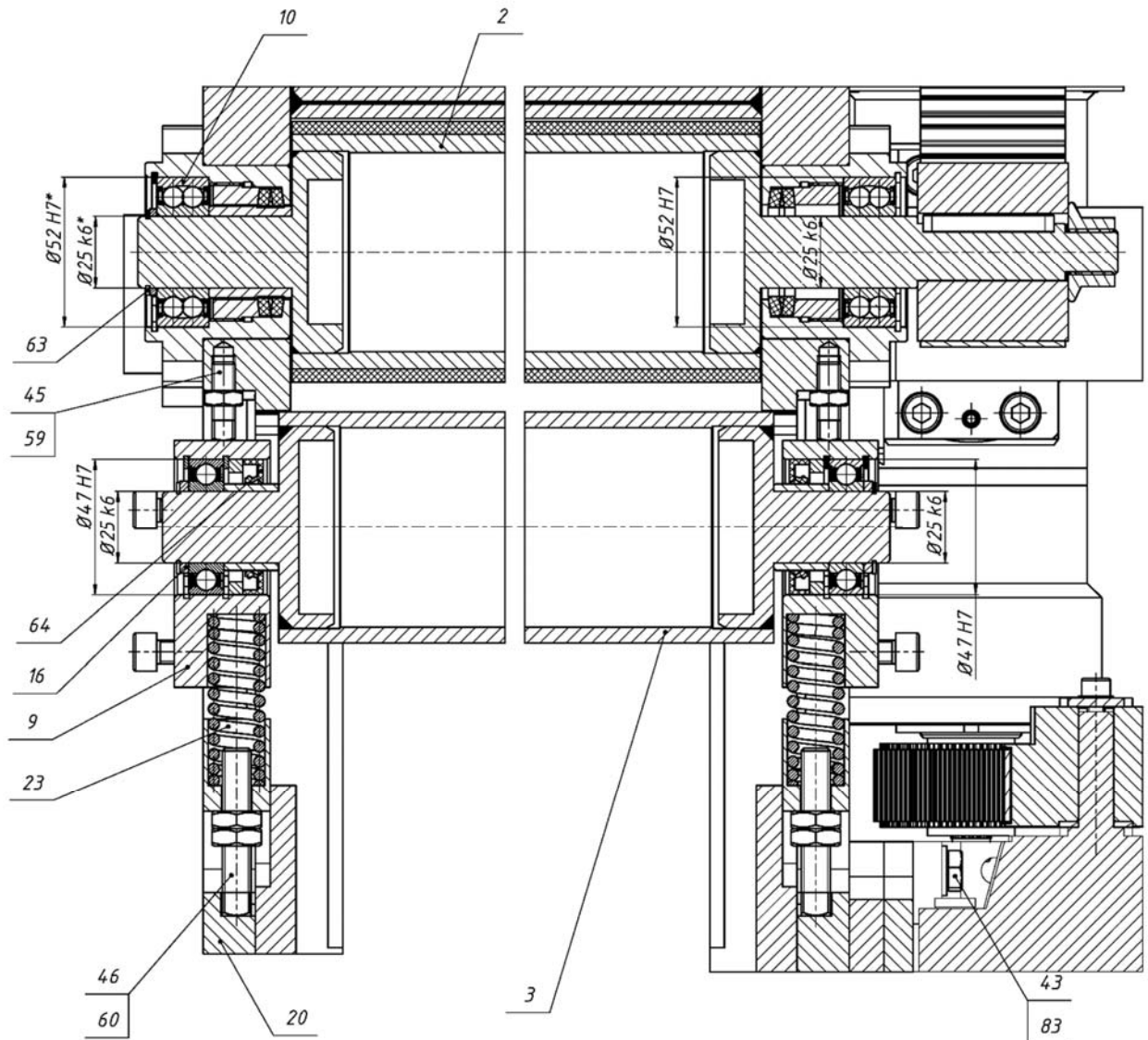


Рис. 3.8. Розріз формувача по осях валків нагнітання та притискного

Конструкція сушарки є подвійним коробом, виготовленим із листового гнучкого матеріалу (рис. 3.10). Між коробами розміщено шар теплоізолятора. Всередині короба розміщені дві інфрачервоні панелі з потужністю 1600 Вт.

З поздовжнього торця розміщені вентилятори нагнітання, а в верхній частині два витяжні вентилятори. Витяжні вентилятори оснащені шиберами для

змішування гарячого повітря з холодним – для зменшення температури повітря, що проходить через витяжні вентилятори.

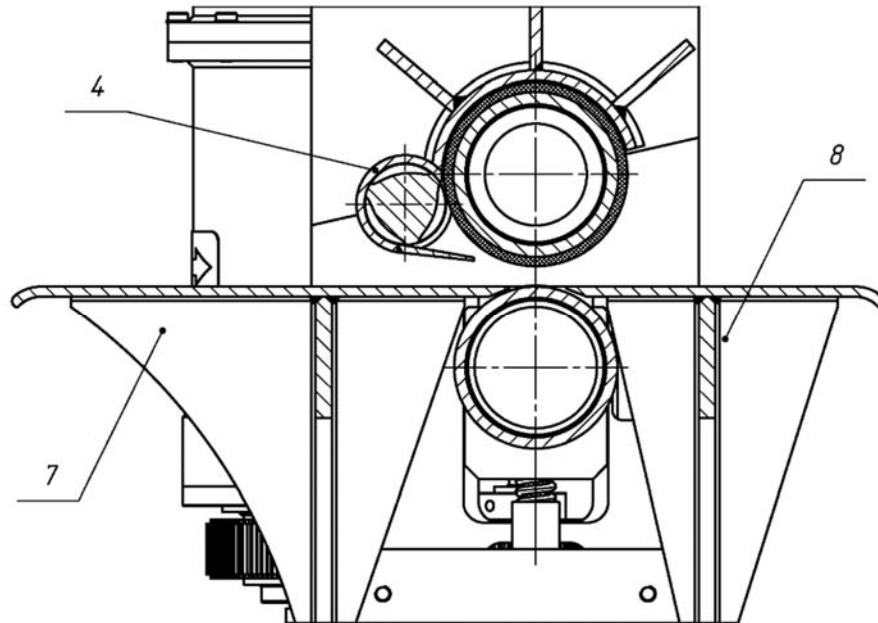


Рис. 3.9. Розріз формувача перпендикулярно осі валка нагнітання

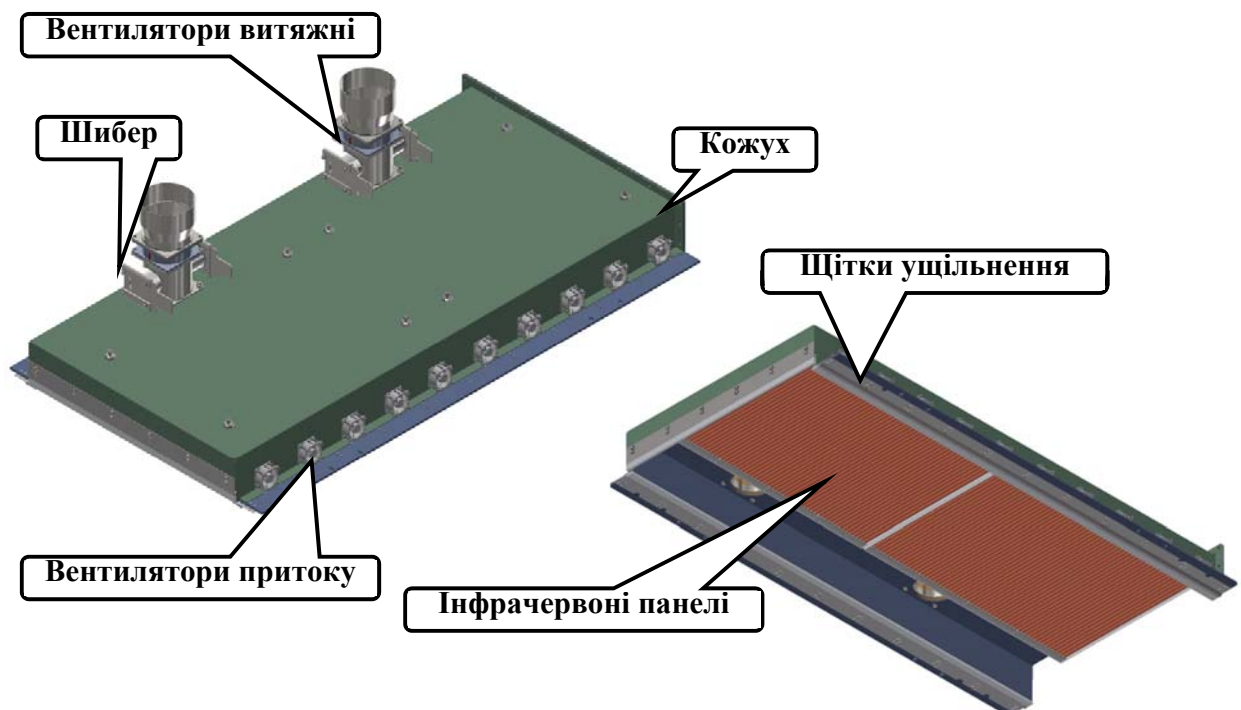


Рис. 3.10. Сушарка

Висновки

1. Недостатність та неповна визначеність вхідної інформації примушує при проектуванні машини (гранулятора) використовувати регульовані приводи, а їх основні номінальні характеристики (потужність, кутову швидкість) визначати за характеристиками відомих матеріалів. В даному випадку, наприклад, для бетону (розчину).

2. Рішення прийняте в попередньому пункті призводить до завищення зазначених параметрів приводів. Тому, як тимчасовий захід, потребує вивчення аналогічних параметрів існуючих грануляторів, що працюють з натровим вапном за іншими схемами.

3. Для оптимального чи раціонального проектування грануляторів для натрового вапна необхідно визначити згадані характеристики.

ГЛАВА 4

РОЗРАХУНКИ ДЕТАЛЕЙ ТА ВУЗЛІВ ГРАНУЛЯТОРА

4.1. Розрахунок сушки гранулятора

Поставлена мета - отримати однакову температуру на всій поверхні форми (стрічка конвеєра) 140°C . Розрахунок зроблений в програмі в SOLIDWORKS з використанням Flow Simulation.

В якості розрахункової моделі (рис. 4.1) використовувалась ділянка конвеєрної лінії довжиною 550 мм і шириною 500 мм закрита зверху і з боків кожухом. На висоті 40 мм від поверхні стрічки встановлена кварцова інфрачервона панель довжиною 550 мм і шириною 400 мм.

Початкові умови:

- об'ємна витрата повітря на вході і виході - $0.005 \text{ м}^3/\text{с}$;

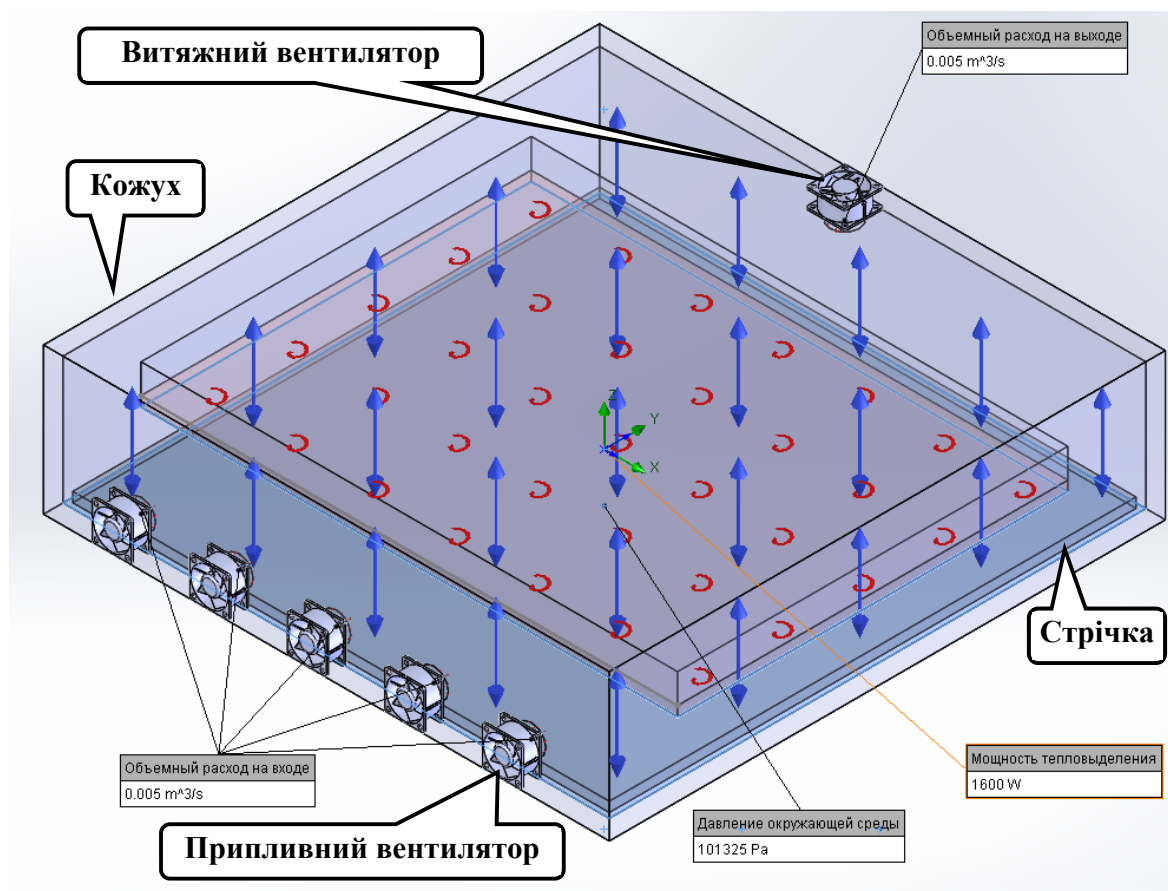


Рис. 4.1. Розрахункова модель сушарки та початкові умови

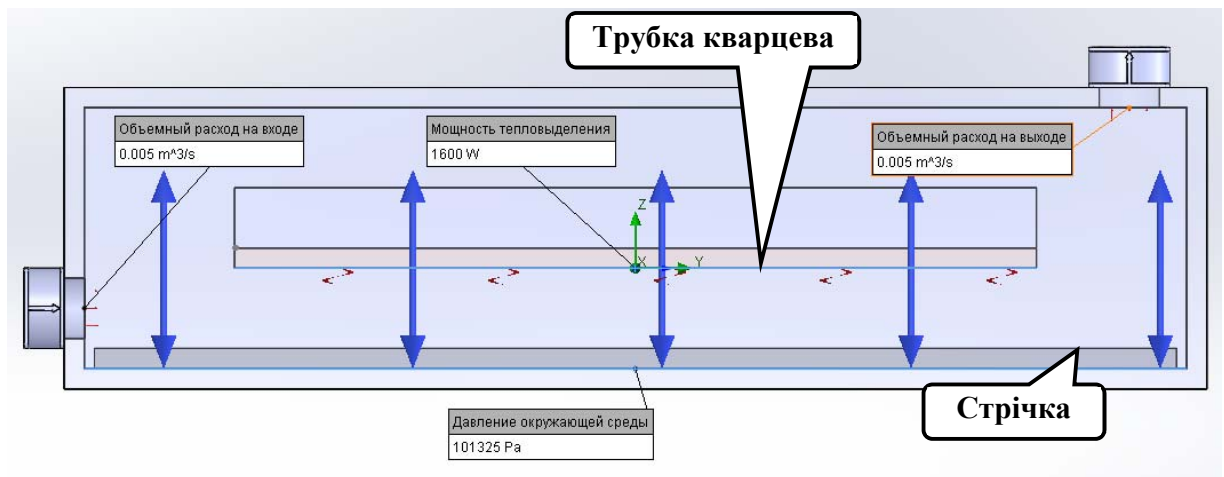
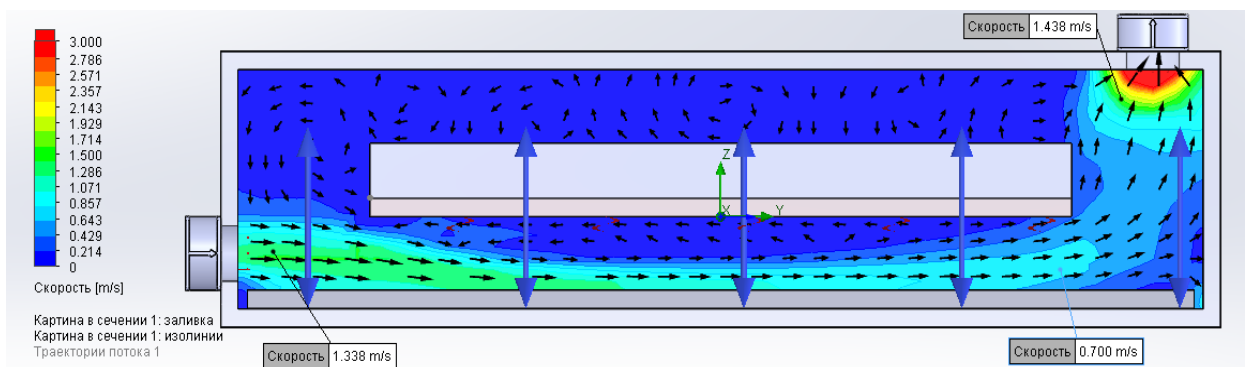


Рис. 4.1. Розрахункова модель сушарки та початкові умови (закінчення)

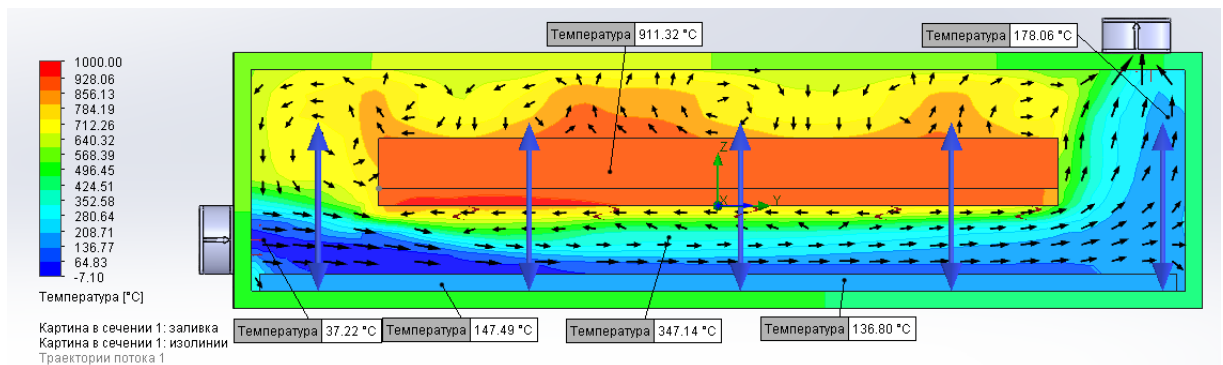
- потужність тепловиділення – 1600 Вт;
- тиск навколишнього середовища – 101325 Па;
- температура навколишнього середовища – 20°C.

Далі представлені результати розрахунку (фрагмент протоколу Flow Simulation).

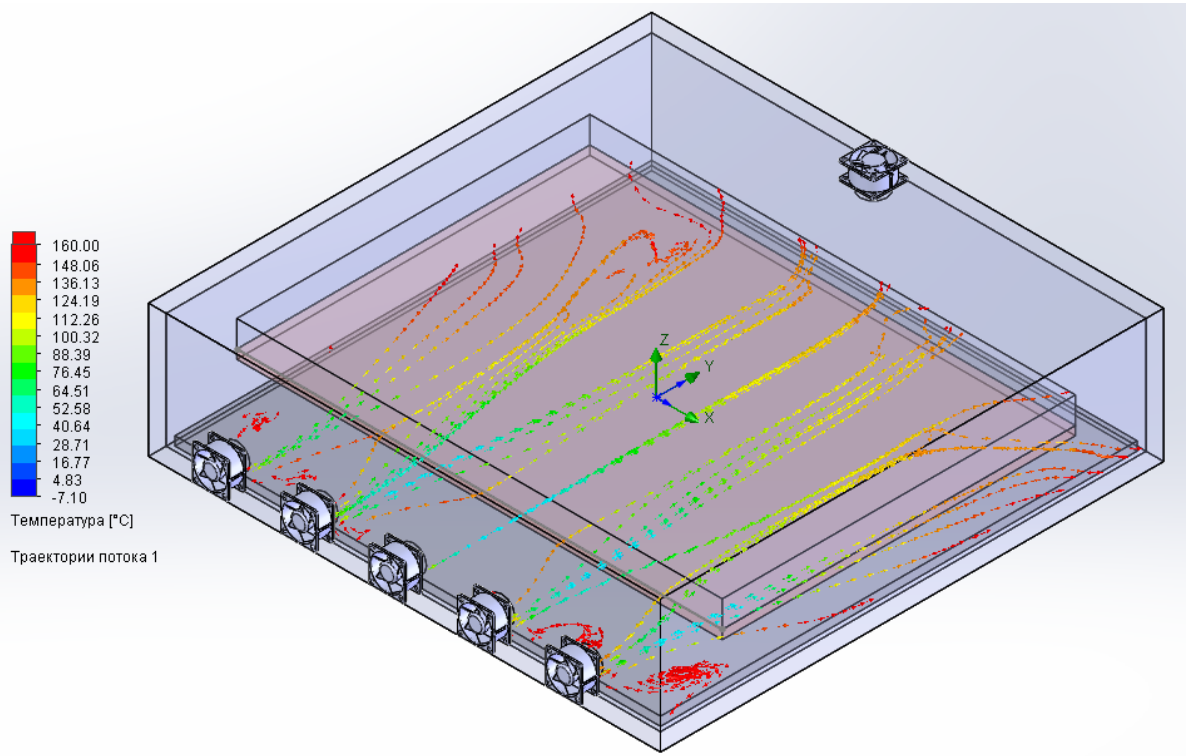
Швидкість руху повітря:



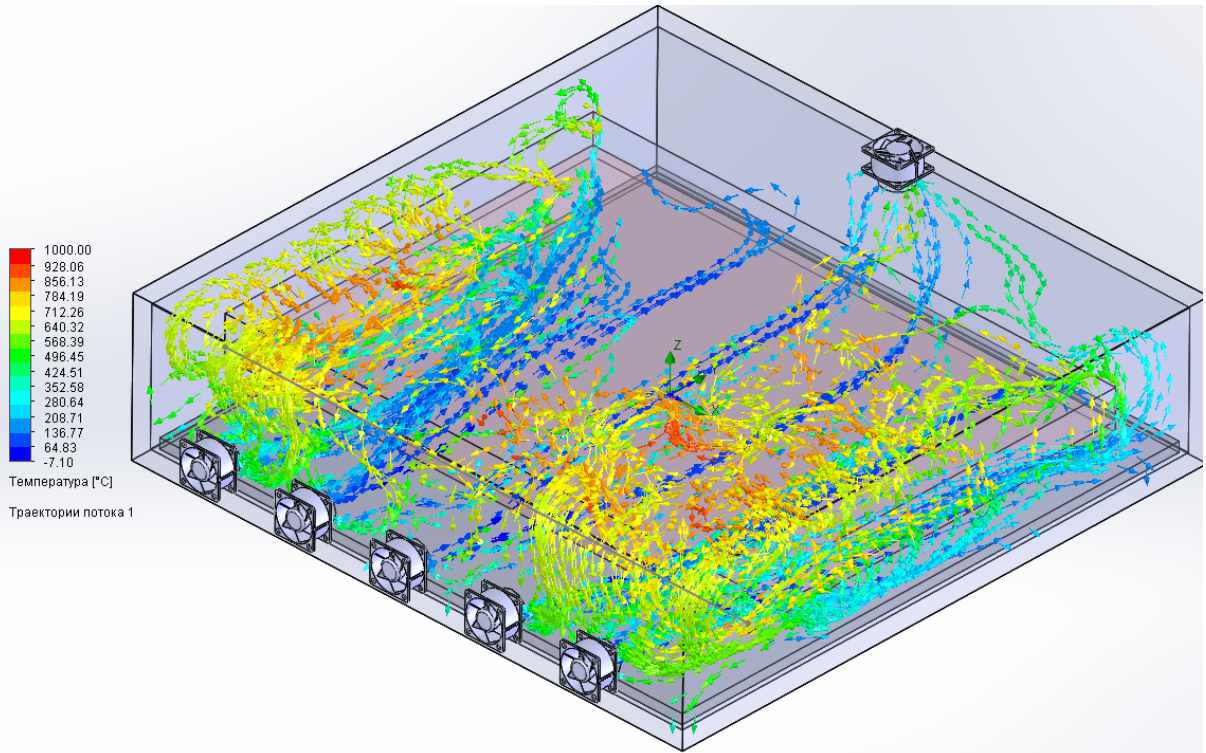
Температура:



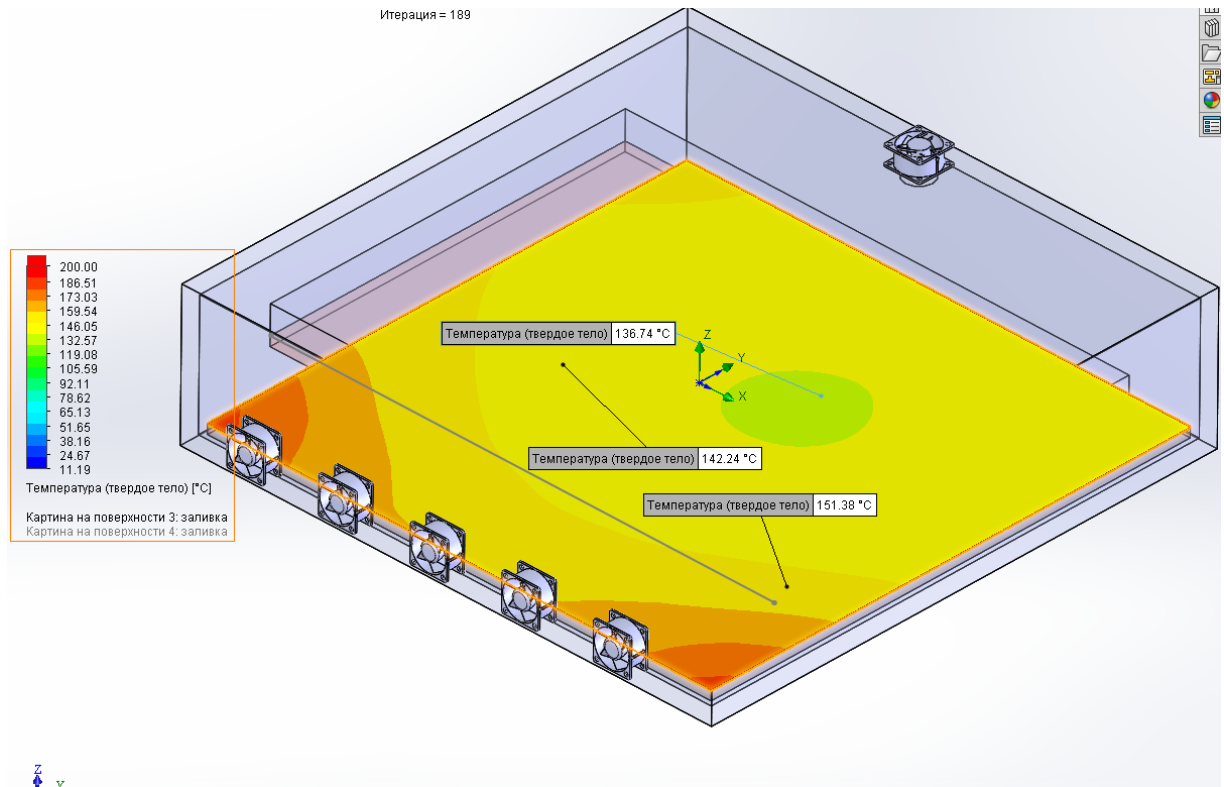
Трасекторії повітряних потоків в площині конвеєрної стрічки:



Об'ємні трасекторії повітряних потоків:



Температура поверхні конвеєрної стрічки:



Аналіз результатів дозволяє зробити такі висновки:

- розрахункова потужність нагрівача - 1600 Вт.
- температура більшої частини поверхні стрічки близько 140°C. Тільки на двох невеликих ділянках вона досягає значення близько 151°C. Розподіл температури майже рівномірний;
- розрахункова продуктивність вентиляторів на вході і виході - 0.005 м³/с або 18 м³ / год.
- температура потоку, який проходить через витяжний вентилятор може досягати 280°C. Робоча температура найбільш поширених вентиляторів (для високих температур) дорівнює 200°C. Тому в конструкції сушарки необхідно передбачити заходи зі зниження температури вихідного потоку;
- регулювання температури стрічки можна здійснити або зміною температури нагрівача, або зміною об'ємної витрати вентиляторів (швидкість обертання).

4.2. Розрахунки приводів гранулятора

Далі приведені результати розрахунків передач гранулятора в майстрі проектування Autodesk Inventor Professional – основні частини протоколів відповідних генераторів.

4.2.1. Розрахунок зубчастої передачі приводу нагнітача

Генератор компонентов цилиндрического зубчатого зацепления (Версия: 2018.2 (Build 222227000, 227))

21.02.2018

▣ Направляющая

Выбор модели - Модуль и количество зубьев

Выбор коэффициента смещения - Пользовательский

Тип расчета нагрузки - Расчет крутящего момента для указанной мощности и скорости

Тип расчета прочности - Проверочный расчет

Метод расчета прочности - ISO 6336:1996

▣ Общие параметры

Передаточное отношение	i	1,0000 бр
Требуемое передаточное отношение	i_{in}	1,0000 бр
Модуль	m	5,000 мм
Угол наклона зуба	β	0,0000 град
Угол профиля	α	20,0000 град
Межосевое расстояние	a_w	140,000 мм
Делительное межосевое расстояние	a	140,000 мм
Общий коэффициент смещения	Σx	0,0000 бр
Окружной шаг	p	15,708 мм
Основной окружной шаг	p_{tb}	14,761 мм
Угол зацепления	α_w	20,0000 град
Коэффициент перекрытия	ε	1,6380 бр
Предельное отклонение параллельности осей f_x		0,0150 мм
Предельное отклонение параллельности осей f_y		0,0075 мм

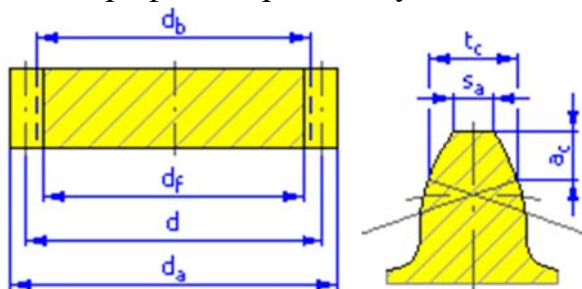
▣ Зубчатые колеса

	Зубчатое колесо 1	Зубчатое колесо 2
Тип модели	Компонент	Компонент

Количество зубьев	z	28 бр	28 бр
Коэффициент смещения	x	0,0000 бр	0,0000 бр
Средний диаметр	d	140,000 мм	140,000 мм
Наружный диаметр	d_a	150,000 мм	150,000 мм
Диаметр впадин	d_f	127,500 мм	127,500 мм
Основной диаметр окружности	d_b	131,557 мм	131,557 мм
Начальный диаметр	d_w	140,000 мм	140,000 мм
Ширина грани	b	54,000 мм	56,000 мм
Коэффициент ширины зубчатого венца	b_r	0,3857 бр	0,3857 бр
Коэффициент высоты головки зуба	a^*	1,0000 бр	1,0000 бр
Зазор	c^*	0,2500 бр	0,2500 бр
Коэффициент радиуса переходной кривой	r_f^*	0,3500 бр	0,3500 бр
Толщина зуба	s	7,854 мм	7,854 мм
Тангенциальная толщина зуба	s_t	7,854 мм	7,854 мм
Толщина хорды	t_c	6,935 мм	6,935 мм
Высота головки зуба по хорде	a_c	3,738 мм	3,738 мм
Размер хорды	B_T	53,623 мм	53,623 мм
Зубья с размером по хорде	z_w	4,000 бр	4,000 бр
Размер между каркасами	M	153,286 мм	153,286 мм
Диаметр проволоки	d_M	9,000 мм	9,000 мм
Предельное отклонение направления зуба	F_β	0,0150 мм	0,0150 мм
Допуск на радиальное биение	F_r	0,0290 мм	0,0290 мм
Предельные отклонения осевого шага	f_{pt}	0,0100 мм	0,0100 мм
Пред.отклон. основного шага	f_{pb}	0,0095 мм	0,0095 мм
Виртуальное количество зубьев	z_v	28,000 бр	28,000 бр
Эквивалентный делительный диаметр	d_n	140,000 мм	140,000 мм
Виртуальный наружный диаметр	d_{an}	150,000 мм	150,000 мм
Виртуальный основной диаметр окружности	d_{bn}	131,557 мм	131,557 мм
Коэффициент смещения без уклона	x_z	0,2086 бр	0,2086 бр
Коэффициент смещения без подрезания	x_p	-0,6180 бр	-0,6180 бр
Коэффициент смещения допустимого подрезания	x_d	-0,7879 бр	-0,7879 бр
Коэф.высот.модиф.зуба	k	0,0000 бр	0,0000 бр
Наружная толщина зуба	s_a	0,7310 бр	0,7310 бр

Угол профиля вершины зуба

α_a 28,7119 град 28,7119 град



▣ Нагрузка

		Зубчатое колесо 1	Зубчатое колесо 2
Мощность	P	1,500 кВт	1,470 кВт
Скорость	n	30,00 об_мин	30,00 об_мин
Крутящий момент	T	477,465 Н м	467,916 Н м
КПД	η	0,980 бр	
Радиальная сила	F_r	2482,614 Н	
Окружная сила	F_t	6820,926 Н	
Осевая сила	F_a	0,000 Н	
цикл нагружения	F_n	7258,678 Н	
Окружная скорость	v	0,220 м_с	
Резонансная частота вращения n_{el}		8378,638 об_мин	

▣ Материал

		Зубчатое колесо 1 GOST 38ChA	Зубчатое колесо 2 GOST 38ChA
Окончательный предел прочности растяжения	S_u	1570 МПа	1570 МПа
Предел текучести	S_y	1350 МПа	1350 МПа
Модуль упругости	E	206000 МПа	206000 МПа
Коэффициент Пуассона	μ	0,300 бр	0,300 бр
Предел усталости при изгибе	σ_{Flim}	740,0 МПа	740,0 МПа
Предел контактной усталости	σ_{Hlim}	1288,0 МПа	1288,0 МПа
Твердость в стержне зуба	JHV	210 бр	210 бр
Твердость в боковой части зуба	VHV	615 бр	615 бр
Основное количество циклов нагрузки при изгибе	N_{Flim}	3000000 бр	3000000 бр
Основное количество циклов нагрузки при контакте	N_{Hlim}	100000000 бр	100000000 бр

Экспонента кривой Велера для изгиба	q_F	9,0 бр	9,0 бр
Экспонента кривой Велера для контакта	q_H	10,0 бр	10,0 бр
Вид обработки	тип	4 бр	4 бр

▣ Расчет прочности

▣ Коэффициент динамической нагрузки

Коэффициент внешней динамической нагрузки	K_A	1,750 бр	
Динамический коэффициент	K_{Hv}	1,004 бр	1,004 бр
Коэф.поверхностной нагрузки	$K_{H\beta}$	1,245 бр	1,164 бр
Коэффициент поперечной нагрузки	$K_{H\alpha}$	1,000 бр	1,000 бр
Единовременный коэффициент перегрузки	K_{AS}	1,000 бр	

▣ Коэффициенты контактного напряжения

Коэффициент эластичности	Z_E	189,812 бр	
Фактор области	Z_H	2,495 бр	
Коэффициент перекрытия	Z_ϵ	0,887 бр	
Коэффициент контакта двух зубьев	Z_B	1,006 бр	1,006 бр
Коэффициент долговечности	Z_N	1,187 бр	1,187 бр
Коэффициент смазки	Z_L	0,967 бр	
Коэффициент шероховатости	Z_R	1,000 бр	
Коэффициент скорости	Z_v	0,942 бр	
Коэффициент угла наклона зуба	Z_β	1,000 бр	
Коэффициент размера	Z_X	1,000 бр	1,000 бр
Коэффициент механического уплотнения	Z_W	1,000 бр	

▣ Коэффициент напряжения изгиба

Коэффициент формы	Y_{Fa}	2,582 бр	2,582 бр
Поправ.коэф.напряжения	Y_{Sa}	1,626 бр	1,626 бр
Коэффициент заточки зубьев	Y_{Sag}	1,000 бр	1,000 бр
Коэффициент угла наклона зуба	Y_β	1,000 бр	
Коэффициент перекрытия	Y_ϵ	0,708 бр	
Коэффициент изменения нагрузки	Y_A	1,000 бр	1,000 бр
Коэффициент технологичности	Y_T	1,000 бр	1,000 бр
Коэффициент долговечности	Y_N	1,000 бр	1,000 бр
Коэф. чувств. к врезанию	Y_δ	1,175 бр	1,175 бр
Коэффициент размера	Y_X	1,000 бр	1,000 бр
Фактор поверхности впадин	Y_R	1,000 бр	

▣ Результаты

Запас прочности по коррозии	S_H	1,657 бр	1,657 бр
Запас прочности по ломке зубьев	S_F	5,667 бр	5,877 бр
Запас прочности при контакте	S_{Hst}	2,929 бр	2,929 бр
Запас прочности при изгибе	S_{Fst}	12,053 бр	12,499 бр
Проверочный расчет	Положительная		

▣ Краткие сведения о сообщениях

20:22:37 Расчет: Соответствие при подборе в процессе расчета!

4.2.2. Розрахунок зубчасто-пасової передачі приводу конвейера-завантажувача

Генератор компонентов зубчатых ремней (Версия: 2018.2 (Build 222227000, 227))

12.04.2018

▣ Свойства ремней

Отображаемое имя	Ремень зубчатый	
Значение	25T5 x 575 D	
Окружной шаг	p_b	5,000 мм
Количество зубьев	z	115,000 бр
Длина шага	L	575,000 мм
Ширина	B	25,000 мм
Высота	H	3,400 мм
Ширина зуба	S	2,650 мм
Угол зуба	β	20,00 град
Высота зуба	h_t	1,200 мм
Радиус кривизны переходной кривой у основания зуба	r_r	0,400 мм
Радиус кривизны переходной кривой у вершины зуба	r_a	0,400 мм
Минимальный средний диаметр шкива	$D_{мин}$	15,000 мм
Максимально допустимое рабочее натяжение	T_a	875,000 Н
Максимальная частота изгибов	$f_{макс}$	60,000 Гц
Максимальная скорость ремня	$v_{макс}$	80,000 м_с
Определенная масса	m	0,063 кг/м

▣ Свойства синхронного шкива 1

Отображаемое имя	Шкив синхронный
Значение	26,5T5 x 36
Тип шкива	Привод R

Количество зубьев	z	36,000 бр
Количество зубьев при контакте	z_c	18,000 бр
Окружной шаг	p_b	5,000 мм
Средний диаметр	D_p	57,296 мм
Наружный диаметр шкива	D_0	56,296 мм
Смещение делительной прямой	a	0,500 мм
Ширина шкива	b_f	26,500 мм
Радиус кривизны переходной кривой по высоте зубьев	r_t	0,600 мм
Радиус кривизны переходной кривой у основания зубьев	r_b	0,400 мм
Ширина паза	b_w	1,800 мм
Высота зуба	h_g	1,250 мм
Угол канавки	φ	25,00 град
Координата X	x	0,000 мм
Координата Y	y	0,000 мм
Длина участка	L_f	23,093 мм
Передаточное число	P_x	1,000 бр
Мощность	P	0,075 кВт
Крутящий момент	T	11,018 Н м
Скорость	n	65,000 об/мин
Дуга контакта	β	170,04 град
Сила на входе	F_1	461,541 Н
Сила на выходе	F_2	76,925 Н
Результирующая осевая нагрузка	F_r	537,472 Н
Статическая сила натяжения	F_v	536,434 Н

■ Свойства синхронного шкива 2

Отображаемое имя	Шкив синхронный	
Значение	26,5T5 x 14	
Тип шкива	Привод N	
Количество зубьев	z	14,000 бр
Количество зубьев при контакте	z_c	4,000 бр
Окружной шаг	p_b	5,000 мм
Средний диаметр	D_p	22,282 мм
Наружный диаметр шкива	D_0	21,282 мм
Смещение делительной прямой	a	0,500 мм
Ширина шкива	b_f	26,500 мм

Радиус кривизны переходной кривой по высоте зубьев	r_t	0,600 мм
Радиус кривизны переходной кривой у основания зубьев	r_b	0,400 мм
Ширина паза	b_w	1,800 мм
Высота зуба	h_g	1,250 мм
Угол канавки	φ	25,00 град
Координата X	x	-55,596 мм
Координата Y	y	33,676 мм
Межосевое расстояние	C	65,000 мм
Длина участка	L_f	51,399 мм
Передаточное число	P_x	1,000 бр
Мощность	P	0,073 кВт
Крутящий момент	T	4,156 Н м
Скорость	n	167,143 об_мин
Передаточное отношение	i	0,389 бр
Дуга контакта	β	101,30 град
Сила на входе	F_1	76,925 Н
Сила на выходе	F_2	461,541 Н
Результирующая осевая нагрузка	F_r	482,541 Н
Статическая сила натяжения	F_v	416,376 Н

■ Свойства синхронного шкива 3

Отображаемое имя	Шкив синхронный	
Значение	Прочие	
Тип шкива	Промежуточное колесо	
Количество зубьев	z	25,000 бр
Количество зубьев при контакте	z_c	10,000 бр
Окружной шаг	p_b	5,000 мм
Средний диаметр	D_p	39,789 мм
Наружный диаметр шкива	D_0	38,789 мм
Смещение делительной прямой	a	0,500 мм
Ширина шкива	b_f	29,000 мм
Радиус кривизны переходной кривой по высоте зубьев	r_t	0,600 мм
Радиус кривизны переходной кривой у основания зубьев	r_b	0,400 мм

Ширина паза	b_w	1,800 мм
Высота зуба	h_g	1,250 мм
Угол канавки	φ	25,00 град
Координата X	x	-107,437 мм
Координата Y	y	-9,519 мм
Межосевое расстояние	C	107,858 мм
Длина участка	L_f	66,907 мм
Передаточное число	P_x	0,000 бр
Мощность	P	0,000 кВт
Крутящий момент	T	0,000 Н м
Скорость	n	93,600 об_мин
Передаточное отношение	i	0,694 бр
Дуга контакта	β	131,66 град
Сила на входе	F_1	461,541 Н
Сила на выходе	F_2	461,541 Н
Результирующая осевая нагрузка	F_r	842,155 Н
Статическая сила натяжения	F_v	491,259 Н

■ Свойства гладкого шкива 4

Отображаемое имя	Шкив гладкий D28	
Значение	Промежуточное колесо	
Тип шкива		
Номинальный диаметр	D	28,000 мм
Средний диаметр	D_p	31,400 мм
Ширина шкива	B	27,500 мм
Координата X	x	4,009 мм
Координата Y	y	-45,825 мм
Межосевое расстояние	C	46,000 мм
Длина участка	L_f	117,136 мм
Передаточное число	P_x	0,000 бр
Крутящий момент	T	0,000 Н м
Скорость	n	118,606 об_мин
Передаточное отношение	i	0,548 бр
Дуга контакта	β	81,51 град
Сила на входе	F_1	461,541 Н
Сила на выходе	F_2	461,541 Н

Результирующая осевая нагрузка F_r	602,637 Н
Статическая сила натяжения F_v	351,539 Н

▣ Свойства гладкого шкива 5

Отображаемое имя	Шкив гладкий	
Значение	D28	
Тип шкива	Промежуточное колесо	
Номинальный диаметр	D	28,000 мм
Средний диаметр	D_p	31,400 мм
Ширина шкива	B	27,500 мм
Координата X	x	39,076 мм
Координата Y	y	31,194 мм
Радиус рычага	R	50,000 мм
Межосевое расстояние	C	50,000 мм
Длина участка	L_f	84,627 мм
Передаточное число	P_x	0,000 бр
Крутящий момент	T	0,000 Н м
Скорость	n	118,606 об_мин
Передаточное отношение	i	0,548 бр
Дуга контакта	β	215,57 град
Сила на входе	F_1	461,541 Н
Сила на выходе	F_2	461,541 Н
Результирующая осевая нагрузка F_r		878,958 Н
Статическая сила натяжения F_v		512,727 Н

▣ Проверка прочности

Мощность	P	0,075 кВт
Крутящий момент	T	11,018 Н м
Скорость	n	65,000 об_мин
КПД	η	0,970 бр
Эксплуатационный коэффициент	c_p	1,200 бр
Полученный эксплуатационный коэффициент	c_{PR}	1,365 бр
Скорость ремня	v	0,195 м_с
Эффективная выемка	F_p	384,615 Н
Центробежная сила	F_c	0,002 Н
Натяжение при установке ремня	F_t	269,233 Н
Максимальное натяжение участка ремня	F_{tmax}	461,541 Н

Коэффициент зацепления зубьев	k_z	0,600 бр
Коэффициент натяжения	k_1	1,200 бр

☐ Краткие сведения о сообщениях

20:20:56 Расчет: Соответствие при подборе в процессе расчета!

4.2.3. Розрахунок зубчасто-пасової передачі приводу валка-формувача Генератор компонентов зубчатых ремней (Версия: 2018.2 (Build 222227000, 227))

08.02.2018

☐ Свойства ремней

Отображаемое имя	Ремень зубчатый	
Значение	50T10 x 560	
Окружной шаг	p_b	10,0 мм
Количество зубьев	z	56,0 бр
Длина шага	L	560,0 мм
Ширина	B	50,0 мм
Высота	H	4,5 мм
Ширина зуба	S	5,3 мм
Угол зуба	β	20,00 град
Высота зуба	h_t	2,5 мм
Радиус кривизны переходной кривой у основания зуба	r_r	0,6 мм
Радиус кривизны переходной кривой у вершины зуба	r_a	0,6 мм
Минимальный средний диаметр шкива	$D_{\text{мин}}$	38,0 мм
Максимально допустимое рабочее натяжение	T_a	3600,0 Н
Максимальная частота изгибов	$f_{\text{макс}}$	50,0 Гц
Максимальная скорость ремня	$v_{\text{макс}}$	60,0 м_с
Определенная масса	m	0,2 кг/м

☐ Свойства синхронного шкива 1

Отображаемое имя	Шкив синхронный	
Значение	Прочие	
Тип шкива	Привод R	
Количество зубьев	z	20,0 бр
Количество зубьев при контакте	z_c	11,0 бр
Окружной шаг	p_b	10,0 мм
Средний диаметр	D_p	63,7 мм
Наружный диаметр шкива	D_0	61,7 мм

Смещение делительной прямой	a	1,0 мм
Ширина шкива	b _f	55,0 мм
Радиус кривизны переходной кривой по высоте зубьев	r _t	0,8 мм
Радиус кривизны переходной кривой у основания зубьев	r _b	0,6 мм
Ширина паза	b _w	3,6 мм
Высота зуба	h _g	2,6 мм
Угол канавки	φ	25,00 град
Координата X	x	-11,3 мм
Координата Y	y	0,0 мм
Длина участка	L _f	89,1 мм
Передаточное число	P _x	1,0 бр
Мощность	P	0,4 кВт
Крутящий момент	T	70,7 Н м
Скорость	n	50,0 об_мин
Дуга контакта	β	195,57 град
Сила на входе	F ₁	2664,0 Н
Сила на выходе	F ₂	444,0 Н
Результирующая осевая нагрузка	F _r	3094,0 Н
Статическая сила натяжения	F _v	3079,4 Н

■ Свойства синхронного шкива 2

Отображаемое имя	Шкив синхронный	
Значение	Прочие	
Тип шкива	Привод N	
Количество зубьев	z	20,0 бр
Количество зубьев при контакте	z _c	12,0 бр
Окружной шаг	p _b	10,0 мм
Средний диаметр	D _p	63,7 мм
Наружный диаметр шкива	D ₀	61,7 мм
Смещение делительной прямой	a	1,0 мм
Ширина шкива	b _f	52,0 мм
Радиус кривизны переходной кривой по высоте зубьев	r _t	0,8 мм
Радиус кривизны переходной кривой у основания зубьев	r _b	0,6 мм
Ширина паза	b _w	3,6 мм
Высота зуба	h _g	2,6 мм
Угол канавки	φ	25,00 град

Координата X	x	5,8 мм
Координата Y	y	-175,0 мм
Межосевое расстояние	C	175,8 мм
Длина участка	L _f	175,8 мм
Передаточное число	P _x	1,0 бр
Мощность	P	0,4 кВт
Крутящий момент	T	68,5 Н м
Скорость	n	50,0 об_мин
Передаточное отношение	i	1,0 бр
Дуга контакта	β	202,50 град
Сила на входе	F ₁	444,0 Н
Сила на выходе	F ₂	2664,0 Н
Результирующая осевая нагрузка	F _r	3078,9 Н
Статическая сила натяжения	F _v	3048,3 Н

▣ Свойства гладкого шкива 3

Отображаемое имя		Шкив гладкий
Значение		Прочие
Тип шкива		Промежуточное колесо
Номинальный диаметр	D	50,0 мм
Средний диаметр	D _p	52,0 мм
Ширина шкива	B	55,0 мм
Координата X	x	-33,1 мм
Координата Y	y	-104,0 мм
Межосевое расстояние	C	106,3 мм
Длина участка	L _f	56,6 мм
Передаточное число	P _x	0,0 бр
Крутящий момент	T	0,0 Н м
Скорость	n	61,2 об_мин
Передаточное отношение	i	0,8 бр
Дуга контакта	β	38,07 град
Сила на входе	F ₁	2664,0 Н
Сила на выходе	F ₂	2664,0 Н
Результирующая осевая нагрузка	F _r	1737,8 Н
Статическая сила натяжения	F _v	1013,7 Н

☐ Проверка прочности

Мощность	P	0,4 кВт
Крутящий момент	T	70,7 Н м
Скорость	n	50,0 об_мин
КПД	η	1,0 бр
Эксплуатационный коэффициент	c_p	1,2 бр
Полученный эксплуатационный коэффициент	c_{PR}	1,6 бр
Скорость ремня	v	0,2 м_с
Эффективная выемка	F_p	2220,0 Н
Центробежная сила	F_c	0,0 Н
Натяжение при установке ремня	F_t	1554,0 Н
Максимальное натяжение участка ремня	F_{tmax}	2664,0 Н
Коэффициент зацепления зубьев	k_z	1,0 бр
Коэффициент натяжения	k_l	1,2 бр

☐ Краткие сведения о сообщениях

20:12:33 Расчет: Соответствие при подборе в процессе расчета!

4.2.4. Розрахунок пружини притисного валка

☐ Направляющая

Расчет прочности пружины	Проектирование пружин сжатия
Тип проекта	F, сборочные размеры --> d, L ₀ , n, D
Метод коррекции кривизны напряжения	Поправочный коэффициент Вая

☐ Нагрузка пружины

Мин. нагрузка	F_l 500,0 Н
Макс. нагрузка	F_s 750,0 Н
Рабочая нагрузка	F 550,0 Н

☐ Размеры пружины

Длина свободной пружины	L ₀ 70,0 мм
Диаметр проволоки	d 3,8 мм
Шаг свободной пружины	t 6,2 мм
Наружный диаметр пружины	D ₁ 19,5 мм
Средний диаметр пружины	D 15,7 мм
Внутренний диаметр пружины	D ₂ 12,0 мм
Индекс пружины	c 4,2 бр

▣ Подбор диаметра пружины

Максимальный диаметр

Макс. наружный диаметр D_{lmax} 20,0 мм

▣ Витки пружины

Рабочее число витков n 10,0 бр

Округление числа витков 1

Направление навивки правое

Торцы пружины

Параметры	Начало	Завершение
Торцевые витки	n_{z1} 1,5 бр	n_{z2} 1,0 бр
Поджатые витки	n_{t1} 1,0 бр	n_{t2} 0,8 бр
Зашлифовано дуги окружности	z_{o1} 0,8 бр	z_{o2} 0,5 бр

▣ Сборочные размеры

Длина при минимальной нагрузке L_1 60,0 мм

Длина при максимальной нагрузке L_8 55,0 мм

Рабочий ход H 5,0 мм

Длина при рабочей нагрузке L_w 59,0 мм

Установочная длина L 59,0 мм

▣ Материал пружины

Проволока стальная, класс 1

Предел прочности при растяжении σ_{ult} 1771,3 МПа

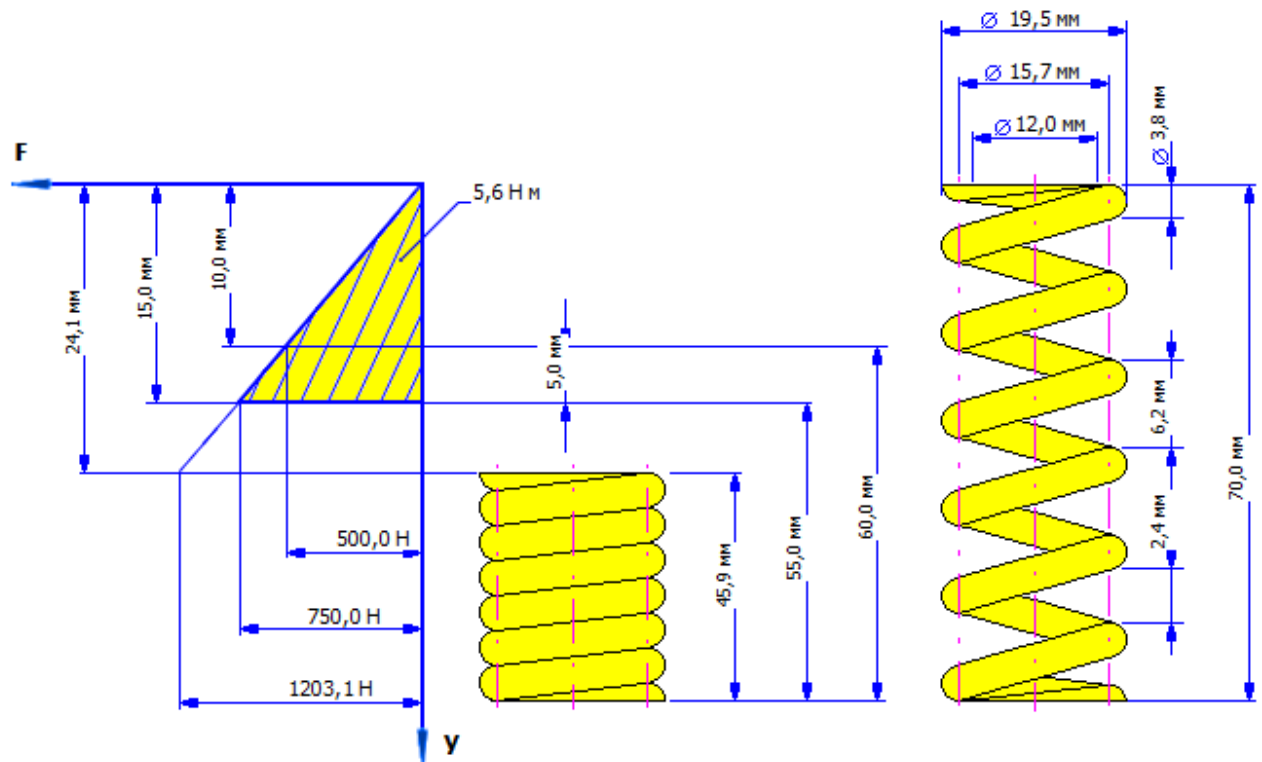
Допустимое напряжение при кручении τ_A 885,6 МПа

Модуль упругости поверхности G 78500,0 МПа

Плотность ρ 7860 кг/м³

Коэф. использования материала пружины us 0,9 бр

Рабочая диаграмма



Результаты

Расстояние между витками свободной пружины	a	2,4 мм
Шаг свободной пружины	t	6,2 мм
Коэффициент концентрации напряжений	K_w	1,4 бр
Жесткость пружины	k	50,0 Н/мм
Деформация пружины при минимальной нагрузке	s_1	10,0 мм
Общая деформация пружины	s_8	15,0 мм
Ограниченная деформация пружины	s_9	24,1 мм
Контроль длины пружины	$L_{\min f}$	52,0 мм
Теоретическая предельная длина пружины	L_9	45,9 мм
Предельное усилие	F_9	1203,1 Н
Напряжение минимальной нагрузки	τ_1	524,3 МПа
Напряжение максимальной нагрузки	τ_8	786,4 МПа
Непрерывное продольное напряжение	τ_9	1261,6 МПа
Критическая скорость пружины	v	13,5 м_с
Собственная частота пульсации пружины	f	540,1 Гц
Энергия деформации	W_8	5,6 Дж

Длина проволоки	l	628,6 мм
Масса пружины	m	0,1 кг
Результат проверки пружины		Положительная

☐ Краткие сведения о сообщениях

20:18:29 : Соответствие при подборе в процессе расчета!

Висновки

1. Вибрані параметри сушарки забезпечують потрібну температуру на поверхні робочої стрічки близько 140°C. Розподіл температури майже рівномірний;

2. Розрахункова продуктивність вентиляторів на вході і виході - 0.005 м³/с або 18 м³ / год.

3. Температура потоку, який проходить через витяжний вентилятор може досягати 280°C. Робоча температура найбільш поширених вентиляторів (для високих температур) дорівнює 200°C. Тому в конструкції сушарки необхідно передбачити заходи зі зниження температури вихідного потоку;

4. Регулювання температури стрічки можна здійснити або зміною температури нагрівача, або зміною об'ємної витрати вентиляторів (швидкість обертання).

5. Проектні розрахунки передач гранулятора дозволили отримати потрібні параметри передач, задовольнити умовам міцності.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У літературних джерелах і у відомих виробників поглинача ХП-И відсутні відомості про деякі фізичні та трібологічні характеристики пасти натрового вапна та про час релаксації деформації матеріалу, з якого виготовлена робоча стрічка.

2. Проведені експериментальні дослідження дозволили встановити самі необхідні характеристики процесу сушки. Для більш точного визначення параметрів гранулятора потрібно встановити зазначені раніше фізичні та трібологічні характеристики пасти натрового вапна та час релаксації деформації матеріалу стрічки.

3. В цілому поставлена мета досягнута – розроблена конструкція гранулятора. Подальшими дослідженнями на виготовленому зразку гранулятора потрібно визначити фактичні значення основних параметрів гранулятора – лінійні швидкості стрічки та інших вузлів, температуру сушки, та ін.

Перелік посилань

1. Бертенев Г.М. Физика и механика полимеров: Учеб. пособие для вузов. - М.: Высш. школа, 1983. - 391 с.
2. Гладышева Т. В. Известковые хемосорбенты. Получение. Свойства. Применение / Т.В. Гладышева, Н.Ф. Гладышев, С.И. Дворецкий, Ю.А. Суворова. – М.: Издательский дом "Спектр", 2015. – 184 с.
3. ГОСТ 6755-88 Поглотитель химический известковый ХП-И. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 1988. 26 с.
4. Королев К.М. Интенсификация приготовления бетонной смеси. М.:Стройиздат, 1976. 145 с.
5. Королев К.М. Механизация приготовления и укладки бетонной смеси. М.: Стройиздат, 1986. 136с.
6. Лещинский А.В. Основы теории и расчета оборудования бетоносмесительных установок: Учебное пособие. - Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 1998.- 112 с.
7. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. Совет: К. В. Фролов (пред.) и др.Машины и аппараты химических и нефтехимических производств. Т. IV-12 / М.Б. Генералов, В.П. Александров, В.В. Алексеев и др.; Под общ. ред. М. Б. Генералова. 2004. - 832 с.
8. Машины и аппараты пищевых производств: учебник для вузов: в 3-х кн.: К н. 2. Т.1 / С.Т. Антипов [и др.]; под ред . акад. РАСХНВ.А. Панфилова, проф. В.Я. Груданова. - Минск: БГАТУ, 2008. -580 с.
9. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования: Справочник. Т. 2. - Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2002. - 968 с.
10. Чудаков Е.А. (гл. ред.), Одинг И.А. (ред.) и др. Машиностроение. Энциклопедический справочник. В 15 томах. Том 4. стор. 317.
11. Юркевич А.А. Технологические основы производства химических компонентов систем жизнеобеспечения / А.А. Юркевич, Г.К. Ивахнюк, Н.Ф. Федоров. – СПб.: Менделеев, 2014. – 275 с.

12. Pat. 911353 DE, МПК А 62 D 9/00. Verfahren zur Herstellung eines Absorptionsmittels / Drägerwerk AG. – 1953.

13. Pat. 2715635 DE, МПК А 62 D 9/00, В 01 J 20/30. Verfahren zur Herstellung eines kohlenensäureabsorptionsmittels, eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens und ein damit hergestelltes kohlenensäureabsorptionsmittel in Körperform / Schafer J.; Drägerwerk AG. – 1978.

14. Pat. 3047533 JP, МПК B01J20/04, B01J20/30. Preparation of acidic gas absorbent / Sacata Y., Fukanory S.; Wako Pure Chem. Ind.Ltd. – 1991.

15. Заявка WO 9817385, МПК В 01 J 20/04. Process for the manufacture of chemical absorbents, and chemical absorbent formulations / Holder M.J.; Intersurgical Ltd. – 1998.

16. Суліма М.П. Машина для гранулювання натрового вапна / М.П. Суліма, В.М. Гейчук // Тези доповідей всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ - МАШИНОБУДУВАННЮ» секція "Конструювання верстатів та машин" / Укладач Кравець О.М. – К: НТУУ "КПІ", 2018. – с. 52-56.

Розрахунок роторної схеми гранулятора

ORIGIN := 1

$$\text{toRD} := \frac{\pi}{180} \quad \text{toGr} := \frac{180}{\pi}$$

☒ Вихідні дані

Склад натрієвого вапна (пасту):

- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - $\text{CaOH}_2 := 96 \text{ г}$;

- NaOH - $\text{NaOH} := 4 \text{ г}$;

- H_2O - $\text{H}_2\text{O} := 60 \text{ г}$.

У відсотках:

$$-\text{Ca}(\text{OH})_2 - \frac{\text{CaOH}_2}{\text{CaOH}_2 + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O}} \cdot 100 = 60 \text{ \%};$$

$$-\text{NaOH} - \frac{\text{NaOH}}{(\text{CaOH}_2 + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O})} \cdot 100 = 2.5 \text{ \%};$$

$$-\text{H}_2\text{O} - \frac{\text{H}_2\text{O}}{(\text{CaOH}_2 + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O})} \cdot 100 = 37.5 \text{ \%}.$$

$$\text{Густина натрієвого вапна: } g_{\text{ni}} := 1.47 \cdot \frac{\text{gm}}{\text{cm}^3} \text{ г/см}^3.$$

$$\text{Діаметр заготовки } d_{\text{tabl}} := 5 \text{ mm мм}.$$

$$\text{Продуктивність машини: } G_m := 100 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \text{ кг/год}.$$

Умови сушіння:

$$-\text{витрата гарячого повітря } V_{\text{vg}} := 300 \frac{1}{\text{min}} (\text{л/хв});$$

$$-\text{температура повітря в потоці } T_{\text{rov}} := 350 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$-\text{температура на поверхні форми (силіконової) } T_F := 140 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$-\text{кут атаки повітряного потоку до поверхні форми } \chi := 45 \text{ deg град}.$$

$$-\text{відстань від торця фена до поверхні форми близько } l_{\Phi} := 40 \text{ mm мм}.$$

$$\text{Час сушіння пігулок до повного висихання } T_s := 105 \cdot \text{sec c}.$$

$$\text{Час сушіння пігулок до моменту можливого видалення з лунки } T_{\text{sm}} := 23 \cdot \text{sec c}.$$

Висота безпечного падіння пігулки при цьому $h_{sm} := 200 \cdot \text{mm}$.

Вихідні дані

Розрахунок продуктивності гранулятора

Об'єм півсфери діаметром d_{tabl} $V_{ni} := \frac{\pi \cdot d_{\text{tabl}}^3}{2 \cdot 6} = 3.3 \times 10^{-5} \text{ L}_{\text{мм}}.$

Вага однієї пігулки $G_{ni} := V_{ni} \cdot g_{ni} = 4.811 \times 10^{-5} \text{ kg}$ кг.

Продуктивність машини в шт/с $N_m := \frac{G_m}{G_{ni}} = 577 \frac{1}{\text{s}}$ шт/с.

Згідно ТХ грануляторів формування (ФП025К08, ФП040К01) (див., наприклад, Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования: Справочник. Т. 2. Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2002. 968 с.)

лінійна швидкість обертання ротора при $n_p := (15 \text{ } 10)^T \cdot \text{rpm(об/хв)}$ і

$D_p := (250 \text{ } 400)^T \cdot \text{mm(мм)}$ дорівнює: $V_{p1} := \frac{\pi \cdot n_{p1}}{30} \cdot \frac{D_{p1}}{2} = 0.021 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ м/с і

$V_{p2} := \frac{\pi \cdot n_{p2}}{30} \cdot \frac{D_{p2}}{2} = 0.022 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ м/с.

Гранулятор ФР070К03, що має в своєму складі стрічкову сушку і стрічка останньої рухається зі швидкістю $V_{\Phi P1} := 0.005 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$ м/с - $V_{\Phi P2} := 0.03 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$ м/с;

$V_{\Phi P3} := 0.1 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$; $V_{\Phi P4} := 0.2 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Відстань, яку проїде пігулка за час сушіння при $T_s = 105 \text{ s}$

$L_{S1} := V_{\Phi P1} \cdot T_s = 0.525 \text{ m}$; $L_{S2} := V_{\Phi P2} \cdot T_s = 3.15 \text{ m}$;

$L_{S3} := V_{\Phi P3} \cdot T_s = 10.5 \text{ m}$;

$L_{S4} := V_{\Phi P4} \cdot T_s = 21 \text{ m}$.

Відстань, яку проїде пігулка за час сушіння при $T_{sm} = 23 \text{ s}$

$$L_{S11} := V_{\Phi P1} \cdot T_{sm} = 0.115 \text{ м} \quad L_{S22} := V_{\Phi P2} \cdot T_{sm} = 0.69 \text{ м} ;$$

$$L_{S33} := V_{\Phi P3} \cdot T_{sm} = 2.3 \text{ м} ; L_{S44} := V_{\Phi P4} \cdot T_{sm} = 4.6 \text{ м} .$$

Продуктивність машини за швидкістю руху пігулки при сушінні.

При діаметрі ротора $D_{p2} = 0.4 \text{ м}$ мм і куті між лунками $\alpha_1 := 2 \cdot \text{deg}^\circ$ відстань по дузі

$$L_{Dp2\alpha1} := \frac{D_{p2}}{2} \cdot \alpha_1 = 6.981 \times 10^{-3} \text{ м} .$$

Якщо не враховувати фазу завантаження (перше проходження завантаженої лунки від позиції завантаження до позиції вивантаження), то продуктивність гранулятора

при однорядній стрічці буде дорівнювати: $N_{m1} := \frac{V_{\Phi P1}}{L_{Dp2\alpha1}} = 0.716 \frac{1}{s}$ (шт/год) і

$$N_{m2} := \frac{V_{\Phi P2}}{L_{Dp2\alpha1}} = 4.297 \frac{1}{s} \text{ (шт/с)} ; N_{m3} := \frac{V_{\Phi P3}}{L_{Dp2\alpha1}} = 14.324 \frac{1}{s} ;$$

$$N_{m4} := \frac{V_{\Phi P4}}{L_{Dp2\alpha1}} = 28.648 \frac{1}{s} .$$

$$\text{Тоді кількість рядів } N_{r1} := \text{ceil}\left(\frac{N_m}{N_{m1}}\right) = 807 \text{ і } N_{r2} := \text{ceil}\left(\frac{N_m}{N_{m2}}\right) = 135 ;$$

$$N_{r3} := \text{ceil}\left(\frac{N_m}{N_{m3}}\right) = 41 ; N_{r4} := \text{ceil}\left(\frac{N_m}{N_{m4}}\right) = 21 \text{ шт}$$

Ширина стрічки транспортера (ротора):

$$B_{r1} := \left(\text{round}\left(\frac{L_{Dp2\alpha1}}{10^{-3} \cdot 1 \cdot \text{м}}, 1\right) 10^{-3} \cdot \text{м} \right) \cdot (N_{r1} - 1) = 5.642 \text{ м}$$

$$B_{r2} := \left(\text{round}\left(\frac{L_{Dp2\alpha1}}{10^{-3} \cdot 1 \cdot \text{м}}, 1\right) 10^{-3} \cdot \text{м} \right) \cdot (N_{r2} - 1) = 0.938 \text{ м}$$

$$B_{r3} := \left(\text{round}\left(\frac{L_{Dp2\alpha1}}{10^{-3} \cdot 1 \cdot \text{м}}, 1\right) 10^{-3} \cdot \text{м} \right) \cdot (N_{r3} - 1) = 0.28 \text{ м}$$

$$B_{r4} := \left(\text{round} \left(\frac{L_{Dp2\alpha l}}{10^{-3} \cdot 1 \cdot \text{m}}, 1 \right) 10^{-3} \cdot \text{m} \right) \cdot (N_{r4} - 1) = 0.14 \text{ m}$$

Діаметр ротора:

$$D_{\text{Rot1}} := \frac{2 \cdot L_{S1}}{(\alpha_1)} = 30.08 \text{ m} \quad D_{\text{Rot11}} := \frac{2 \cdot L_{S11}}{(\alpha_1)} = 6.589 \text{ m}$$

$$D_{\text{Rot2}} := \frac{2 \cdot L_{S2}}{(\alpha_1)} = 180.482 \text{ m} \quad D_{\text{Rot22}} := \frac{2 \cdot L_{S22}}{(\alpha_1)} = 39.534 \text{ m}$$

$$D_{\text{Rot3}} := \frac{2 \cdot L_{S3}}{(\alpha_1)} = 601.606 \text{ m} \quad D_{\text{Rot33}} := \frac{2 \cdot L_{S33}}{(\alpha_1)} = 131.78 \text{ m}$$

$$D_{\text{Rot4}} := \frac{2 \cdot L_{S4}}{(\alpha_1)} = 1.203 \times 10^3 \text{ m} \quad D_{\text{Rot44}} := \frac{2 \cdot L_{S44}}{(\alpha_1)} = 263.561 \text{ m}$$

 Розрахунок продуктивності гранулятора

Програма проектних розрахунків основних параметрів гранулятора

ORIGIN := 1

$$toRD := \frac{\pi}{180} \quad toGr := \frac{180}{\pi}$$

Вихідні дані

Склад натрієвого вапна (пасти):

- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - CaOH_2 := 96 г;

- NaOH - NaOH := 4 г;

- H_2O - H_2O := 60 г.

У відсотках:

$$-\text{Ca}(\text{OH})_2 - \frac{\text{CaOH}_2}{\text{CaOH}_2 + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O}} \cdot 100 = 60 \text{ \%};$$

$$-\text{NaOH} - \frac{\text{NaOH}}{(\text{CaOH}_2 + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O})} \cdot 100 = 2.5 \text{ \%};$$

$$-\text{H}_2\text{O} - \frac{\text{H}_2\text{O}}{(\text{CaOH}_2 + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O})} \cdot 100 = 37.5 \text{ \%}.$$

Густина натрієвого вапна: $g_{ni} := 1.47 \cdot \frac{\text{gm}}{\text{cm}^3}$.

Діаметр заготовки $d_{tbl} := 5\text{mm}$ мм.

Продуктивність машини: $G_m := 100 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$.

Умови сушіння:

- витрата гарячого повітря $V_{vg} := 300 \frac{\text{l}}{\text{min}}$;

- температура повітря в потоці $T_{pov} := 350^\circ\text{C}$;

- температура на поверхні форми (силіконової) $T_F := 140^\circ\text{C}$;

- кут атаки повітряного потоку до поверхні форми $\chi := 45\text{deg}$.

- відстань від торця фена до поверхні форми близько $l_\Phi := 40\text{mm}$.

Час сушіння пігулок до повного висихання $T_s := 105\text{sec}$.

Час сушіння пігулок до моменту можливого видалення з лунки $T_{sm} := 30\text{sec}$.

Висота безпечного падіння пігулки при цьому $h_{sm} := 200\text{mm}$.

Товщина стрічки формувальника $T_{str} := 10\text{mm}$.

Об'єм півсфери діаметром d_{tbl} $V_{ni} := \frac{\pi \cdot d_{tbl}^3}{2 \cdot 6} = 3.3 \times 10^{-5} \text{ м}^3$.

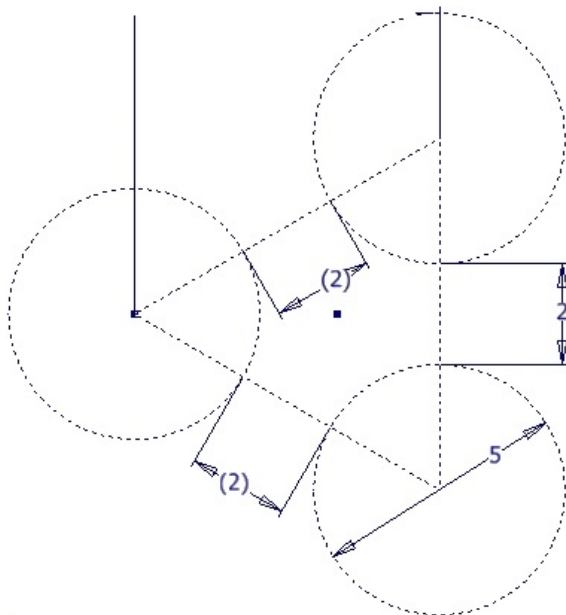
Вага однієї пігулки $G_{ni} := V_{ni} \cdot \rho_{ni} = 0.00004810563 \text{ г}$.

Продуктивність машини в шт/с $N_m := \frac{G_m}{G_{ni}} = 577 \frac{1}{\text{с}}$ шт/с.

До реалізації вибрана схема з модулем заповнення лунок, підсушування і вивантаження на стрічку печі основного сушіння.

На даному етапі потрібно вибрати три параметри: діаметр ротора D_p , його довжину V_r , швидкість обертання V_p .

Швидкість руху стрічок змінюється в межах $V_p = 0.004-0.9 \text{ м/с}$ [Фролов, МЭ, Т. IV-12, стор. 505].



Основні параметри ротора:

$$n_{\Delta v} := \frac{0.9 \cdot \frac{m}{s} - 0.005 \cdot \frac{m}{s}}{0.005 \cdot \frac{m}{s}} + 1 = 180 \quad i := 1 \dots n_{\Delta v} \quad V_{min} := 0.005 \cdot \frac{m}{s}$$

$$\Delta_v := \frac{0.9 \cdot \frac{m}{s} - 0.005 \cdot \frac{m}{s}}{n_{\Delta v} - 1} = 5 \frac{mm}{s} \quad V_{p_i} := V_{min} + (i - 1) \cdot \Delta_v$$

$$V_p^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\frac{mm}{s}$
1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	...	

$$\Delta_{\Lambda} := \frac{\Delta_{\Lambda max} - \Delta_{\Lambda min}}{n_{\Delta v} - 1} = 0.017 \text{ mm}$$

$$n_{\Delta \Lambda} := \frac{\Delta_{\Lambda max} - \Delta_{\Lambda min}}{\Delta_{\Lambda}} + 1 = 180 \quad j := 1 \dots n_{\Delta \Lambda}$$

Найменша відстань між сусідніми лунками в напрямку переміщення стрічки:

$$\Delta_{min\Lambda_j} := \Delta_{\Lambda min} + (j - 1) \cdot \Delta_{\Lambda}$$

$$\Delta_{min\Lambda}^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	mm
1	2	2.017	2.034	2.05	2.067	2.084	2.101	...	

Відстань між центрами сусідніх лунок в напрямку переміщення стрічки:

$$\Delta L_{\Lambda_j} := [\Delta_{\Lambda min} + d_{tabl} + (j - 1) \cdot \Delta_{\Lambda}] \cdot \cos(\beta)$$

$$\Delta L_{\Lambda}^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	mm
1	7	7.017	7.034	7.05	7.067	7.084	...	

Відстань між центрами сусідніх лунок по ширині стрічки:

$$\Delta L_{s\Lambda_j} := \Delta_{\Lambda min} + d_{tabl} + (j - 1) \cdot \Delta_{\Lambda}$$

$$\Delta L_{s\Lambda}^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	7	7.017	7.034	7.05	7.067	7.084	7.101	...

mm

Якщо не враховувати фазу завантаження (перше проходження завантаженої лунки від позиції завантаження до позиції вивантаження), то продуктивність гранулятора при однорядній стрічці буде дорівнювати:

$$N_{Ir} := \left| \begin{array}{l} \text{for } ii \in 1..n_{\Delta v} \\ \quad \text{for } jj \in 1..n_{\Delta \Lambda} \\ \quad \quad a_{ii,jj} \leftarrow \frac{V_{p_{ii}}}{\Delta L_{\Lambda_{jj}}} \\ \quad \quad \quad a \end{array} \right|$$

Кількість рядів

$$N_r := \left| \begin{array}{l} \text{for } ii \in 1..n_{\Delta v} \\ \quad \text{for } jj \in 1..n_{\Delta \Lambda} \\ \quad \quad b_{ii,jj} \leftarrow \text{ceil} \left(\frac{N_m}{N_{Ir_{ii,jj}}} \right) \\ \quad \quad \quad b \end{array} \right|$$

$$N_r^T =$$

	1	2	3	4	5
1	809	405	270	203	162
2	811	406	271	203	...

Ширина стрічки транспортера (ротора):

$$B_r := \left| \begin{array}{l} \text{for } ii \in 1..n_{\Delta v} \\ \quad \text{for } jj \in 1..n_{\Delta \Lambda} \\ \quad \quad a_{ii,jj} \leftarrow \left(\text{round} \left(\frac{\Delta L_{s\Lambda_{jj}}}{1 \cdot \text{mm}}, 3 \right) \cdot 1 \cdot \text{mm} \right) \cdot (N_{r_{ii,jj}} + 1) \\ \quad \quad \quad a \end{array} \right|$$



	1	2	3	4	5	6	
$B_r =$	5670	5697.804	5725.676	5752.8	5780.806	5808.88	mm
1	2842	2855.919	2869.872	2883.45	2897.47	2911.524	
2	1897	1908.624	1913.248	1924.65	1936.358	1941.016	
3	1428	1431.468	1441.97	1445.25	1455.802	1459.304	
4	1141	1150.788	1153.576	1156.2	1166.055	...	

Відстань, яку проїде пігулка за час сушіння при $T_{sm} = 30s$ (довжина ланки стрічки від позиції заповнення лунки до її вивантаження):

$$L_{ps} := V_p \cdot T_{sm}$$

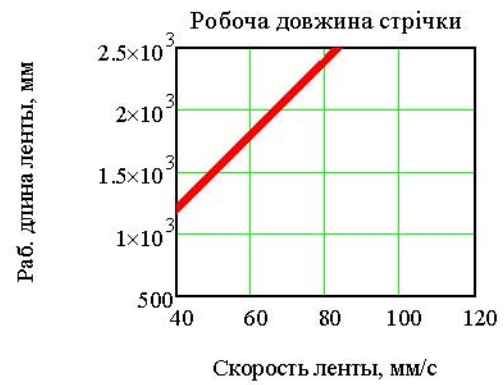
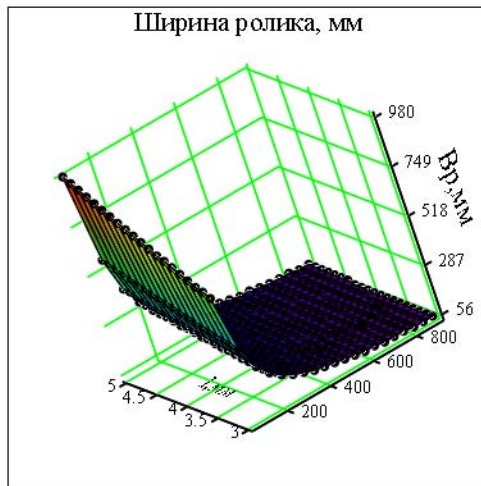
$L_{ps}^T =$	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	150	300	450	600	750	900	1050	...	mm

$$\left(V_L^{(1)}\right) := \frac{V_p}{1 \cdot \frac{mm}{s}} \quad \left(V_L^{(2)}\right) := \frac{\Delta_{min\Lambda}}{1 \cdot mm}$$

$$III_{up} := \frac{B_r}{1 \cdot mm}$$

$$BB_r(v, \lambda) := \text{interp} \left[\text{cspline}(VL, III_{up}), VL, III_{up}, \begin{pmatrix} v \\ \lambda \end{pmatrix} \right]$$

$$III_{up} := \text{CreateMesh}(BB_r, 60, 900, 3, 5)$$



Ширь

Розрахунок продуктивності і основних параметрів

Вибір параметрів формування

Пошук індексів члена матриці з заданою шириною стрічки транспортера (ротора):

```


$$I_n := \begin{cases} aa_2 \leftarrow 0 \\ \text{for } ii \in 1..n_{\Delta v} \\ \quad \text{for } jj \in 1..n_{\Delta \Lambda} \\ \quad \quad \text{if } (B_{min} \leq \text{Шир}_{ii,jj} \leq B_{max} - 0 \wedge \text{Шир}_{ii,jj} \wedge \Delta_{\Lambda mn} < \Delta_{min} \Lambda_{jj} \leq \Delta_{\Lambda mx}) \\ \quad \quad \quad \begin{cases} aa_1 \leftarrow ii \\ aa_2 \leftarrow jj \\ \text{break} \end{cases} \\ aa \end{cases}$$


```

$$I_n = \begin{pmatrix} 15 \\ 55 \end{pmatrix}$$

$$\text{Шир}_{I_{n_1}, I_{n_2}} = 490.11$$

$$V_{PI_{n_1}} = 75 \frac{mm}{s}$$

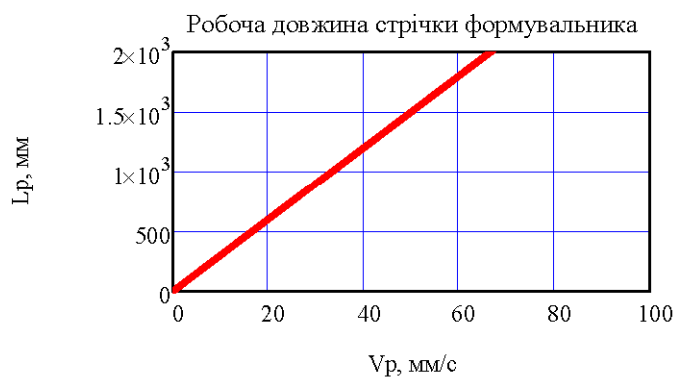
$$\text{round}\left(\frac{\Delta_{\min\Lambda I_{n_2}}}{\text{mm}}, 1\right) \cdot \text{mm} = 2.9 \text{ mm}$$

$$\text{ceil}(BB_r(75, 2)) = 386$$

$$\text{ceil}(BB_r(65, 2)) = 448$$

$$\text{ceil}\left(BB_r\left(\frac{V_{pI_{n_1}}}{1 \cdot \frac{\text{mm}}{s}}, \frac{\Delta_{\min\Lambda I_{n_2}}}{1 \cdot \text{mm}}\right)\right) = 491$$

$$L_{rf}(v) := \text{interp}(\text{cspline}(V_p, L_{ps}), V_p, L_{ps}, v)$$



Принцип вибору (при забезпеченні заданої продуктивності):

- чим більша швидкість V_p , тим менша ширина стрічки але більша її робоча довжина;
- чим менша відстань між лунками, тим менша ширина стрічки.

Підходящими значеннями є швидкість $V_{pI} := V_{pI_{n_1}} = 75 \frac{\text{mm}}{s}$ і відстань між лунками

$\Delta_{\min\Lambda I} := \Delta_{\min\Lambda I_{n_2}} = 2.905 \text{ mm}$. При цьому ширина стрічки

$$B_{rI} := \text{ceil}\left(BB_r\left(\frac{V_{pI}}{\frac{\text{mm}}{s}}, \frac{\Delta_{\min\Lambda I}}{\text{mm}}\right)\right) = 491 \text{ мм, а робоча довжина } L_{sI} := L_{rf}(V_{pI}) = 2250 \text{ mm}.$$

Попередньо для реалізації приймаємо параметри

- відстань між лунками - $\Delta_{min\Lambda l} + d_{tabl} = 8\text{ mm}$;
- лінійна швидкість ролика (стрічки) - $V_{pI_{n_1}} = 75 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$;
- кількість лунок в ряду (поперек стрічки) $N_{rI_{n_1}, I_{n_2}} = 61$ шт;
- робоча довжина стрічки - $L_{sI} = 2250\text{ mm}$.

Приймаємо діаметр ротора $D_p := 295\text{ mm}$

Тоді кутовий крок лунок (по центрах півсфер):

$$\Delta\alpha_{Apr} := \frac{2 \cdot (\Delta_{min\Lambda l} + d_{tabl})}{(D_p + 2 \cdot T_{str})} = 2.875713\text{ deg.};$$

Кутова швидкість стрічки (ротора):

$$\omega_r := \frac{2 \cdot V_{pl}}{(D_p + 2 \cdot T_{str})} = 0.476 \frac{1}{\text{s}} \quad (n_r := \frac{30 \cdot s \cdot \omega_r}{\pi} = 4.547)$$

$$\text{Відстань між лунками по дузі: } \Delta l_{Apr} := \left(\frac{D_p + 2 \cdot T_{str}}{2} \cdot \Delta\alpha_{Apr} \right) = 7.905\text{ mm}$$

$$\text{Відстань між лунками по ширині стрічки: } \Delta l_{uu} := \text{Round} \left(\frac{\Delta l_{Apr}}{\text{mm}}, 0.5 \right) \cdot \text{mm} = 8\text{ mm}$$

$$N_\omega := \frac{\omega_r}{\Delta\alpha_{Apr}} = 9.488 \frac{1}{\text{s}}$$

$$N_\Lambda := \text{ceil} \left(\frac{N_m}{N_\omega} \right) = 61$$

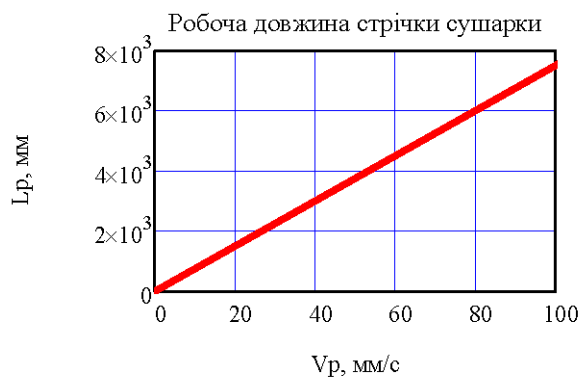
Уточнена ширина стрічки (з врахуванням відступів величиною $\Delta l_{uu} = 8\text{ mm}$ від

країв): $B_{cmp} := \Delta l_{uu} \cdot (N_\Lambda + 1) = 496\text{ mm}$

Відстань, яку пройде пігулка за час сушіння при $T_s - T_{sm} = 75s$ (довжина ланки стрічки від позиції завантаження з формувача до її вивантаження):

$$L_{psh} := V_p \cdot (T_s - T_{sm})$$

$$L_{rsh}(v) := \text{interp}(\text{cspline}(V_p, L_{psh}), V_p, L_{psh}, v)$$



При швидкості стрічки сушарки $V_{p2} := V_{p1} = 75 \frac{mm}{s}$ її робоча довжина буде

$$\text{дорівнювати } L_{pсуш1} := L_{rsh}(V_{p2}) = 5625mm .$$

Якщо ж прийняти швидкість сушарки трохи більшою, наприклад $V_{p3} := V_{p2} + 5 \cdot \frac{mm}{s} = 80 \frac{mm}{s}$

, то її робоча довжина буде дорівнювати $L_{pсуш2} := L_{rsh}(V_{p3}) = 6000mm$.

Останнє гарантує відсутність необхідності транспортера-розкладача. Тоді сушарка може мати три секції з робочою довжиною стрічки по 2 м.

Відстань між центрами сусідніх лунок в напрямку переміщення стрічки:

$$\Delta L_{\Delta paб} := (\Delta L_{mn} + d_{tabl}) \cdot \cos(\beta) = 7.9mm$$

Кут обхвату стрічки робочого ролика: $\beta_{ochv} := 2.90 \cdot deg$

Базова довжина стрічки формувальника з врахуванням довжини $L_{zagr} := 440\text{ mm}$, зайнятої завантажувачем:

$$L_{str} := 2 \cdot (L_{s1} + L_{zagr}) \cdot \sin\left(\frac{\beta_{ochv}}{2}\right) + \frac{\pi}{2} \cdot \left[2 \cdot \left(D_p + \frac{T_{str}}{2}\right)\right] + \frac{\pi}{180} \cdot \left(90 \cdot \text{deg} - \frac{\beta_{ochv}}{2}\right) \cdot (D_p - D_p)$$

$$L_{str} = 6322.478\text{ mm}$$

Кількість листів довжиною $L_{pl} := 400\text{ mm}$ помістяться на стрічці:

$$N_{pl} := \text{round}\left(\frac{L_{str}}{L_{pl}}\right) = 16$$

$$\frac{L_{str}}{L_{pl}} = 15.806$$

Тоді міжцентрова відстань (робоча довжина стрічки):

$$L_{s2} := \frac{N_{pl} \cdot L_{pl} - \left[\frac{\pi}{2} \cdot \left[2 \cdot \left(D_p + \frac{T_{str}}{2}\right)\right] + \frac{\pi}{180} \cdot \left(90 \cdot \text{deg} - \frac{\beta_{ochv}}{2}\right) \cdot (D_p - D_p) \right]}{2 \cdot \sin\left(\frac{\beta_{ochv}}{2}\right)} = 2728.761\text{ mm}$$

Розміри сушарки

Приймальний бункер сировини

Об'єм приймального бункера готової до використання пасти прийемо на повну вагу годинної продуктивності при заповненні бункера допоміжними агрегатами

$$(\text{лопастями ворошителя, та ін.}) k_3 := 1.5; V_{vx} := k_3 \cdot \frac{G_m}{g_{ni}} \cdot \text{hr} = 10204081\text{ mm}^3$$

$$\text{Висота бункера при діаметрі бункера } d_b := 600\text{ mm}; h := \frac{4 \cdot V_{vx}}{\pi \cdot d_b^2} = 360.896\text{ mm}$$

Приймальний бункер сировини

Потужність двигуна приводу ворущителя [1], кВт:

$$N_v := \frac{2 \cdot K_o \cdot Z_l \cdot Z_v \cdot b_l \cdot h_l \cdot (R_v - 0.5 h_l) \cdot \omega_v}{1000 \eta},$$

де:

- $K_o := 3 \cdot 10^4 \cdot \frac{N}{m^2}$ - питомий коефіцієнт опору руху лопаті в суміші, Н / м². За

даними [2, 3], величина цього коефіцієнта для рухливих бетонних сумішей $K = 2,5 \dots 3,5 \cdot 10^4$ Н / м², для жорстких $K = 1,0 \dots 2,0 \cdot 10^4$ Н / м², для твердого розчину $K = 3,0 \dots 4,0 \cdot 10^4$ Н / м²;

- $R_v := 100 \cdot 10^{-3} \cdot m$ - радіус внутрішнього корпусу ворущителя (умовний);

- $b_l := 70 \cdot 10^{-3} \cdot m$ - середня ширина лопатки; $h_l := 90 \cdot 10^{-3} \cdot m$ - висота лопатки;

- $Z_l := 5$ - кількість лопаток на валу;

- $Z_v := 1$ - кількість валів;

- кількість обертів валу в сек. $n_{vr} := \frac{0.755}{\sqrt{\frac{R_v}{mm} \cdot 10^{-3}}} = 2.388$ об/с, тоді кутова

швидкість валу $\omega_{vr} := n_{vr} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{rad}{s} = 15.001 \frac{1}{s}$.

згідно табл. 6.5 [1] у існуючого обладнання середня швидкість валу змішувача дорівнює приблизно 1 об/с. Прийmemo $n_v := 2.5$ об/с, тоді

$$\omega_v := n_v \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{rad}{s} = 15.708 \frac{1}{s};$$

- к.к.д. приводу $\eta := 0.75$ (із 0.75-0.85).

Потужність приводу, Вт:

$$N_v := \frac{2 \cdot K_o \cdot Z_l \cdot Z_v \cdot b_l \cdot h_l \cdot (R_v - 0.5 h_l) \cdot \omega_v}{\eta} = 2177.124 W.$$

Потужність двигуна приводу валків нагнітача:

$$N_{vn} := \frac{2 \cdot K_o \cdot Z_{ln} \cdot Z_{vn} \cdot b_{ln} \cdot h_{ln} \cdot (R_{vn} - 0.5 h_{ln}) \cdot \omega_{vn}}{\eta}$$

де:

$$\begin{aligned}
- R_{vn} &:= \frac{140 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot m_i \\
- b_{ln} &:= 510 \cdot 10^{-3} \cdot m_i \\
- h_{ln} &:= R_{vn} \\
- Z_{ln} &:= 1; \quad Z_{vn} := 2; \\
- n_{vn} &:= \text{ceil} \left(\frac{0.755}{\sqrt{\frac{R_{vn}}{mm} \cdot 10^{-3}}} \right) = 3; \\
\omega_{vn} &:= n_{vn} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{\text{rad}}{s} = 18.85 \frac{1}{s}
\end{aligned}$$

$$N_{vn} := \frac{2 \cdot K_o \cdot Z_{ln} \cdot Z_{vn} \cdot b_{ln} \cdot h_{ln} \cdot (R_{vn} - 0.5 \cdot h_{ln}) \cdot \omega_{vn}}{\eta} = 3768.403 \text{ W}$$

▣ Визначення потужності приводів

▣ Розрахунок завантажувального пристрою

▣ Розрахунок приводу валків формувальника

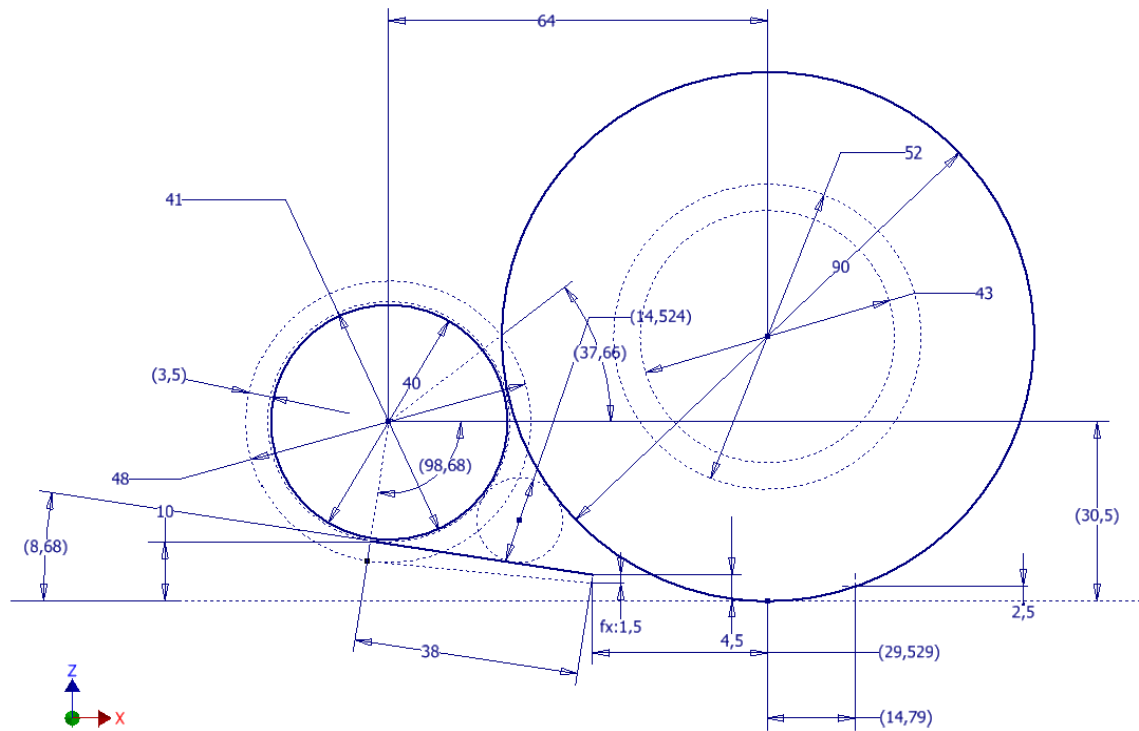
Потужність приводу валків (приблизно) визначимо за формулами [4, стор. 556-558].

Момент (Момент прокатування):

$$M_{np} := (F_k \cdot p_{cp} + F_{kr} \cdot p_{cpr}) \cdot \left(D \cdot \sin \left(\frac{\beta_o}{2} \right) + 4 \cdot d_0 \cdot \mu \right) + F_{kr} \cdot p_{cpr} \cdot \left(\frac{D}{2} \cdot f_{rs} \cdot \sin \left(\frac{\beta_{kd}}{2} \right) \right),$$

де:

$F_k := (30.5 + 2.5) \cdot 10^{-3} \cdot 500 \cdot 10^{-3}$ - проекція поверхні контакту заготовки (тіста) з валком (враховуючи товщину шару 2,5 мм та ширину стрічки 500 мм) на вертикальну площину



$D := 90 \cdot 10^{-3}$ мм - діаметр валка, м,

$\beta_o := 20 \cdot deg$ град - кут охопту заготовки.

$d_0 := 38 \cdot 10^{-3}$ мм - середній діаметр підшипника.

$\mu := 0.01$ - коефіцієнт тертя в підшипнику.

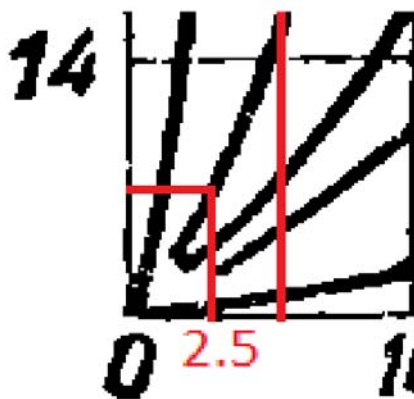
$p_{cp} := 100 \cdot 10^3$ Па - середній тиск заготовки (тіста) на валок ($p_{cp} = 12-40$ кПа).

$f_{rs} := 0.8$ - коефіцієнт тертя сталі по гумі.

$\beta_{kd} := 5 \cdot deg$ - дуга контакту гуми при її деформації на 0.2 мм.

$p_{cpr} := 30 \cdot 10^4$ Па - тиск при стисканні гуми на 0.2 мм [5].

$F_{kr} := 2 \cdot (0.1 \cdot 10^{-3} \cdot 500 \cdot 10^{-3}) \text{ м}^2$.



$$M_{np} := (F_k \cdot p_{cp} + F_{kr} \cdot p_{cpr}) \cdot \left(D \cdot \sin\left(\frac{\beta_o}{2}\right) + 4 \cdot d_o \cdot \mu \right) + F_{kr} \cdot p_{cpr} \cdot \left(\frac{D}{2} \cdot f_{rs} \cdot \sin\left(\frac{\beta_{kd}}{2}\right) \right) = 28.856$$

Кутова швидкість
валка

$$\omega_{vp} := 3 \cdot \frac{2 \cdot V_{pl}}{D \cdot \frac{m}{s}} = 5$$

$$n_{vp} := \frac{30 \cdot \omega_{vp}}{\pi} = 47.746$$

$$N_{np} := M_{np} \cdot \omega_{vp} = 144.282$$

Вертикальна сила на формувальний валок та на стрічку

$$F_{krg} := 2 \cdot (4.2 \cdot 10^{-3} \cdot 500 \cdot 10^{-3})$$

$$F_{kg} := (42.6) \cdot 10^{-3} \cdot 500 \cdot 10^{-3}$$

$$F_{vt} := (F_{kg} \cdot p_{cp} + F_{krg} \cdot p_{cpr}) = 3390$$

▢ Розрахунок приводу валків формувальника

$$N_g := \frac{40 \cdot L}{60 \cdot s} \cdot 25 \cdot MPa = 16666.667 \text{ W}$$

▢ Розрахунок вертикального шнека

Формат		Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание						
					Документация								
				SKTB 03.00.00.00.00.000 Гранулятор	Сборочный чертеж	1							
					Сборочные единицы								
		1		SKTB 03.01.00.00.00.000	Нагнетатель	1							
		2		SKTB 03.02.00.00.00.000	Загрузчик	1							
		3		SKTB 03.03.00.00.00.000	Наполнитель	1							
		4		SKTB 03.04.00.00.00.000	Конвейер	1							
		5		SKTB 03.05.00.00.00.000	Рама	1							
		6		SKTB 03.06.00.00.00.000	Рама	1							
		7		SKTB 03.07.00.00.00.000	Камера сушки	1							
		8		SKTB 03.08.00.00.00.000	Камера сушки	1							
		9		SKTB 03.09.00.00.00.000	Камера сушки	1							
		10		SKTB 03.10.00.00.00.000	Опора сушки	4							
		11		SKTB 03.18.00.00.00.000	Мойка	1							
		12		SKTB 03.12.00.00.00.000	Щетка	1							
		13		SKTB 03.13.00.00.00.000	Балка	1							
		14		SKTB 03.14.00.00.00.000	Балка	1							
		15		SKTB 03.15.00.00.00.000	Домкрат	4							
		16		SKTB 03.16.00.00.00.000	Кожух	1							
		17		SKTB 03.17.00.00.00.000	Кожух	1							
		18		SKTB 03.19.00.00.00.000	Хомут	2							
		19		SKTB 03.20.00.00.00.000	Хомут	1							
		20		SKTB 03.21.00.00.00.000	Насосная установка	1							
		21		SKTB 03.23.00.00.00.000	Кронштейн	2							
		22		SKTB 03.22.00.00.00.000	Облицовка	1							
					SKTB 03.00.00.00.00.000								
				Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата					
				Разраб.	Сулима			02.04.2					
				Пров.	Гейчук								
				Нач.отд.	Бурдин								
				Н.контр									
				Утв.									
				Гранулятор Общий вид				Литера		Лист		Листов	
										1		4	
								КПИ им. И.Сикорского, каф. КСМ, гр. МВ-61м					

Формат		Зона	Поз.	Обозначение		Наименование		Кол.	Примечание	
						<u>Детали</u>				
			23	SKTB 03.00.00.00.00.024		Плита		1		
			24	SKTB 03.12.00.00.00.025		Винт		4		
			25	SKTB 03.12.00.00.00.026		Гайка		4		
			26	SKTB 03.12.00.00.00.027		Втулка		1		
			27	SKTB 03.12.00.00.00.028		Винт		2		
			28	SKTB 03.12.00.00.00.029		Башмак		8		
			29	SKTB 03.12.00.00.00.030		Башмак		4		
			30	SKTB 03.12.00.00.00.031		Башмак		8		
			31	SKTB 03.12.00.00.00.032		Башмак		8		
			32	SKTB 03.12.00.00.00.033		Шайба		16		
			33	SKTB 03.12.00.00.00.034		Винт		4		
			34	SKTB 03.12.00.00.00.036		Винт		4		
			35	SKTB 03.12.00.00.00.037		Уголок		1		
						<u>Стандартные изделия</u>				
			36	ГОСТ 7798-70		Болт М6-6d×25(S10)		12		
			37	ГОСТ 7798-70		Болт М8-6d×32(S13)		16		
			38	ГОСТ 7798-70		Болт М10-6d×18		8		
			39	ГОСТ 7798-70		Болт М10-6d×25		16		
			40	ГОСТ 7808-70		Болт М8-6d×25		12		
			41	ГОСТ 7798-70		Болт А М8-6d×22(S13)		4		
			42	ГОСТ 7798-70		Болт А М10-6d×20(S16)		32		
			43	ГОСТ 7798-70		Болт А М12-6d×35		4		
			44	ГОСТ 7798-70		Болт А М16-6d×45(S24)		4		
			45	ГОСТ 1483-84		Винт В.М10×30		8		
			46	ГОСТ 11075-93		Винт М10-6d×16		1		
Инв. № подл						SKTB 03.00.00.00.00.000				Лист
										2
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					
Копировал										
Формат А4										

Инв. № подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	63	ГОСТ 15522-70	Гаўка M24x2-6H	8	
					64	ГОСТ 9649-78	Шаўда 10	8	
Инв. № подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	65	ГОСТ 10450-78	Шаўда 6,4	26	
					66	ГОСТ 10462-81	Шаўда 2-6	5	
Инв. № подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	67	ГОСТ 11371-78	Шаўда 6	40	
					68	ГОСТ 11371-78	Шаўда 8	60	
Инв. № подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	69	ГОСТ 11371-78	Шаўда 10	60	
					70	ГОСТ 11371-78	Шаўда 12	12	
Инв. № подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	71	ГОСТ 11371-78	Шаўда 16	4	
					72	ГОСТ 13465-77	Шаўда 10	8	
Инв. № подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	73	ГОСТ 6402-70	Шаўда 10 H	16	
					74	ГОСТ 6402-70	Шаўда 10 N	52	
Инв. № подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	75	ГОСТ 6402-70	Шаўда 12 N	12	
					76	ГОСТ 6402-70	Шаўда 16 N	4	
Инв. № подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	77	ГОСТ 6402-70	Шаўда 6 L	12	
					78	ГОСТ 6402-70	Шаўда 6 N	33	
					<div> <div> <div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ докум.</div> <div>Подп.</div> <div>Дата</div> </div> <div> <div>SKTB 03.00.00.00.00.000</div> <div>3</div> </div> </div>				

Инв. № подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						Покупные			
Инв. № подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата			94	Rotex-Size24	Муфта упругая	1			
							95	SK02040-63SP4 TFRD (NORD)	Двигатель	1			
							96		Дроссель-клапан 100	1	(Оцинк.)		
							97		Колено 100х205	7	(Оцинк.)		
							98		Крестовина 100х100	1	(Оцинк.)		
							99		Ниппель 100	3	(Оцинк.)		
							100		Тройник 100х100	3	(Оцинк.)		
							101		Труба 100х164	1	(Оцинк.)		
							102		Труба 100х170	1	(Оцинк.)		
							103		Труба 100х279	2	(Оцинк.)		
							104		Труба 100х289	1	(Оцинк.)		
							105		Труба 100х325	1	(Оцинк.)		
							106		Труба 100х601	1	(Оцинк.)		
							107	Junior 100 (Art 142370)	Хомут	6	(Оцинк.)		
					SKTB 03.00.00.00.00.000								
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата									

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		79	ГОСТ 6402-70	Шайба 8 N	32	
		80	ГОСТ 22041-76	Шпилька М8-6д×40	1	
		81	ГОСТ 22041-76	Шпилька М8-6д×50	1	
		82	ГОСТ 22041-76	Шпилька М8-6д×55	2	
		83	ГОСТ 22041-76	Шпилька М8-6д×130	1	
		84	ГОСТ 22041-76	Шпилька М8-6д×180	1	
		85	ГОСТ 12207-79	Штифт 2.6х16	16	
		86	ГОСТ 12207-79	Штифт 2.8х18	8	
		87	ГОСТ 12207-79	Штифт 2.8х22	2	
		88	ГОСТ 12207-79	Штифт 2.8х24	2	
		89	ГОСТ 12207-79	Штифт 2.8х32	2	
		90	ГОСТ 12207-79	Штифт 2.10х35	2	
		91	ГОСТ 12850.2-93	Штифт 4х12	8	
		92	ISO 10642	Винт М6 х 20	16	
		93	ISO 7042	Гайка М6	4	
				Покупные		
		94	Rotex-Size24	Муфта упругая	1	
		95	SK02040-63SP4 TFRD (NORD)	Двигатель	1	
		96		Дроссель-клапан 100	1	(Оцинк.)
		97		Колено 100х205	7	(Оцинк.)
		98		Крестовина 100х100	1	(Оцинк.)
		99		Ниппель 100	3	(Оцинк.)
		100		Тройник 100х100	3	(Оцинк.)
		101		Труба 100х164	1	(Оцинк.)
		102		Труба 100х170	1	(Оцинк.)
		103		Труба 100х279	2	(Оцинк.)
		104		Труба 100х289	1	(Оцинк.)
		105		Труба 100х325	1	(Оцинк.)
		106		Труба 100х601	1	(Оцинк.)
		107	Junior 100 (Art 142370)	Хомут	6	(Оцинк.)